



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**CAMPUS I - CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO**

**WIDSON GOMES DE MELO**

**ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA COM TECNOLOGIA LORA**

**CAMPINA GRANDE – PB**  
**2019**

**WIDSON GOMES DE MELO**

**ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA COM TECNOLOGIA  
LORA**

Trabalho de Conclusão de Curso em Ciência da Computação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Computação.

**Área de concentração:** *Sistemas Embarcados.*

**Orientador:** Prof. Dr. Misael Elias de Morais.

**CAMPINA GRANDE – PB  
2019**



É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

M528e Melo, Widson Gomes de.  
Estação Meteorológica Automática com Tecnologia LoRa  
[manuscrito] / Widson Gomes de Melo. - 2019.  
87 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em  
Computação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de  
Ciências e Tecnologia , 2020.  
"Orientação : Prof. Dr. Misael Elias de Moraes,  
Coordenação do Curso de Computação -CCT."  
1. Sistemas embarcados. 2. Meteorologia. 3. Internet das  
Coisas. 4. LoRa. I. Título  
21. ed. CDD 004.678

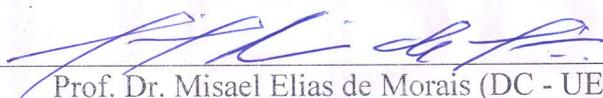


WIDSON GOMES DE MELO

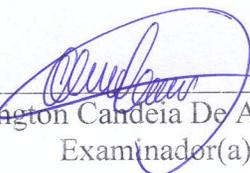
## ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA COM TECNOLOGIA LoRa

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Ciência da Computação da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

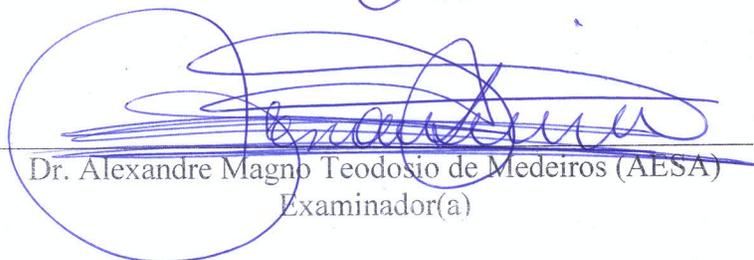
Aprovada em 5 de Dezembro de 2019.



Prof. Dr. Misael Elias de Moraes (DC - UEPB)  
Orientador(a)



Prof. Dr. Wellington Candeia De Araújo (DC - UEPB)  
Examinador(a)



Dr. Alexandre Magno Teodosio de Medeiros (AESA)  
Examinador(a)

À minha mãe, por dar a volta por cima, DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter me mantido de pé, mesmo nos dias mais difíceis e por ter me provado que a vida é muito mais do que nossos olhos podem ver.

À minha família, em especial à minha mãe Edvanda Gomes da Silva, que sempre me abençoou todos os dias quando eu saía de casa para a aula, ela foi incrível em todos os momentos. Aos meus irmãos, Allef Gomes da Costa, Ellen Soraya Gomes de Melo e Wilder Gomes de Melo, por manter sempre viva a realização desse grande sonho, e por intensificar a nossa necessidade de estudar.

Ao professor Misael Elias de Moraes, por acreditar no meu potencial, por ter me concedido a oportunidade de mostrar o que eu sei fazer de melhor, por depositar grande confiança em meu trabalho, por alegrar meus dias por me ouvir nos momentos de dificuldade e por me ensinar que a humildade nos faz alcançar patamares incríveis. Você sempre será meu grande exemplo!

À minha namorada Caroline Sousa Truta Ramalho, por conseguir me fazer enxergar minhas próprias qualidades e cuidar de mim incansavelmente.

Aos colegas de curso por compartilhar toda a trajetória da graduação, dividindo dificuldades e multiplicando vitórias, por se reunir em grupos de estudo, por questionar, por evoluir.

Aos colegas do NUTES, pela grande consideração, carinho e respeito que têm por mim. Essa é uma casa diferente de todas que eu já pude entrar!

Ao corpo docente do curso de Ciência da Computação, por transmitir o importante conhecimento que lhes foi dado de modo a tornar seus alunos seres humanos melhores e profissionais úteis para a sociedade, vocês têm grande participação neste progresso.

Por fim, agradeço a Universidade Estadual da Paraíba, pela oportunidade, pela infraestrutura e por fornecer os meios necessários para a conclusão do meu curso de Bacharelado em Ciência da Computação.

## RESUMO

Atualmente, o uso de estações meteorológicas automáticas pelas agências gestoras têm sido marcada pelo elevado investimento na compra e na manutenção desses equipamentos. A ausência de tecnologias inovadoras tem agravado a falta desses dispositivos, bem como o interesse por parte das agências, tornando o semiárido brasileiro, região com importante necessidade de monitoramento, disperso de acompanhamento das variáveis climáticas. Em 2019, a Paraíba conta com aproximadamente 21 estações meteorológicas automáticas sob posse da AESA, INMET, entre outras agências, um número bastante escasso para representar as condições meteorológicas e climáticas de um estado com uma área de 56.585 km<sup>2</sup>. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma estação meteorológica de categoria automática, cujo diferencial inovador é o uso da tecnologia LoRa, para realizar a transmissão das variáveis monitoradas. A tecnologia LoRa é caracterizada por transmitir pacotes de dados a distâncias elevadas, na ordem de quilômetros, por meio de um baixo consumo de energia. Sendo assim, o desenvolvimento de um equipamento completo, com tecnologia viável e funcional, mostra-se capaz de monitorar variáveis meteorológicas e climáticas, por meio de um custo acessível aos cofres governamentais, oferecendo possibilidades de viabilizar este monitoramento por parte das agências responsáveis. Sendo assim, foi desenvolvido uma estação meteorológica automática, composta por três módulos eletrônicos, caracterizados por um datalogger, um repetidor e um gateway, onde juntos podem alcançar distâncias ilimitadas na transmissão dos dados até os grandes centros com acesso à internet. A Estação Meteorológica Automática com Tecnologia LoRa, tem capacidade de monitorar a temperatura ambiente, umidade relativa do ar, precipitação, velocidade do vento e direção do vento. Além da possibilidade de realizar a gravação dos dados em uma mídia removível para análise, o sistema desenvolvido realiza a submissão das variáveis monitoradas à servidores na internet para possibilitar que esses dados possam ser exibidos em um aplicativo de celular conectado à internet, em qualquer lugar do planeta. O aplicativo de celular também acompanha o conjunto de produtos e serviços que compõem este projeto.

**Palavras-chave:** Sistemas Embarcados, Internet das Coisas, LoRa.

## ABSTRACT

Currently, the use of automatic weather stations by management agencies has been marked by the high investment in the purchase and maintenance of such equipment. The absence of innovative technologies has aggravated the lack of these devices, as well as the interest on the part of the agencies, making the Brazilian semiarid region, a region with important need for monitoring, dispersed to accompany climate variables. In 2019, Paraíba has approximately 21 automatic weather stations owned by AESA, INMET, among other agencies, a sufficiently small number to represent the weather and climate conditions of a state with an area of 56,585 km<sup>2</sup>. This work aims to develop an automatic category weather station, whose innovative differential is the use of LoRa technology, to perform the transmission of monitored variables. LoRa technology is characterized by transmitting data packets over long distances, in the order of kilometers, through low power consumption. Thus, the development of a complete equipment, with viable and functional technology, is capable of monitoring meteorological and climatic variables, at an affordable cost to government coffers, offering possibilities for such monitoring by the responsible agencies. Thus, an automatic weather station was developed, consisting of three electronic modules, characterized by a datalogger, a repeater and a gateway, where together they can reach unlimited distances in the transmission of data to large centers with internet access. The LoRa Technology Automatic Weather Station is capable of monitoring ambient temperature, relative humidity, precipitation, wind speed and wind direction. In addition to being able to record data to removable media for analysis, the system developed submits monitored variables to servers on the Internet to enable this data to be displayed in a mobile application connected to the Internet, anywhere in the world. planet. The mobile app also accompanies the set of products and services that make up this project.

**Keywords:** Embedded Systems, Internet of Things, LoRa.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pinout ESP32 DevKitC.....	30
Figura 2 - Pinout WiFi LoRa 32.....	32
Figura 3 - Topologia geral do projeto.....	35
Figura 4 - Anemômetro .....	36
Figura 5 - Determinar o número de rotações por minuto do anemômetro .....	37
Figura 6 - Equação para determinar a velocidade do vento .....	37
Figura 7 - Circuito auxiliar do anemômetro .....	38
Figura 8 - Sensor de direção do vento .....	39
Figura 9 - Estrutura eletrônica interna do sensor de direção do vento .....	40
Figura 10 - Dedução da tensão de saída emitida pelo sensor de direção do vento.....	40
Figura 11 - Circuito auxiliar do sensor de direção do vento .....	42
Figura 12 - Sensor TB-4 .....	43
Figura 13 - Detalhes internos do TB-4 .....	44
Figura 14 - Representação interna do pluviômetro .....	45
Figura 15 - Circuito auxiliar do pluviômetro.....	46
Figura 16 - Detalhes internos do HMP 155.....	47
Figura 17 - Equação formulada para o cálculo da temperatura por meio do HMP155.....	48
Figura 18 - Equação formulada para o cálculo da umidade por meio do HMP155 .....	48
Figura 19 - Diagrama eletrônico para integração do HMP 155 .....	49
Figura 20 - Diagrama de Classe dos sensores .....	51
Figura 21 - Diagrama de Atividade do datalogger .....	52
Figura 22 - Definição das tasks do datalogger utilizando o FreeRTOS .....	53
Figura 23 - Arquivos de registro do datalogger.....	56
Figura 24 - Conteúdo do arquivo de registro do datalogger.....	56
Figura 25 - Configuração struct adotada para envio dos dados.....	57
Figura 26 - Layout dos LEDs do datalogger .....	58
Figura 27 - Desenho da caixa do datalogger, visão em perspectiva.....	59
Figura 28 - Desenho da caixa do datalogger, visão frontal .....	59
Figura 29 - Circuito eletrônico do datalogger .....	61
Figura 30 - Diagrama de Atividade do repetidor.....	64
Figura 31 - Layout dos LEDs do Repetidor .....	65
Figura 32 - Diagrama eletrônico do repetidor .....	66

Figura 33 - Diagrama eletrônico do gateway .....	68
Figura 34 - Layout dos LEDs do gateway .....	69
Figura 35 - Circuito eletrônico do Gateway .....	70
Figura 36 - Estrutura do Blynk .....	72
Figura 37 - Aplicativo do usuário, tela de resumo .....	73
Figura 38 - Aplicativo do usuário, tela de higrômetro .....	73
Figura 39 - Aplicativo do usuário, tela do anemômetro .....	74
Figura 40 - Aplicativo do usuário, tela de direção do vento.....	74
Figura 41 - Aplicativo do usuário, tela de localização da estação.....	75
Figura 42 - Aplicativo do usuário, tela dos dados da estação .....	75
Figura 43 - Aplicativo do usuário, tela de login .....	76
Figura 44 - QR Code para utilização do aplicativo da estação meteorológica.....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações principais do ESP32 .....	29
Tabela 2 - Diferença entre os módulos LoRa SX12XX .....	31
Tabela 3 - Relação das direções interpretadas pelo sensor de direção do vento .....	39
Tabela 4 - Tensão de saída e direções do sensor de direção do vento.....	41
Tabela 5 - Identificação dos conectores do datalogger.....	62
Tabela 6 - Identificação dos conectores do repetidor .....	66
Tabela 7 - Identificação dos conectores do gateway .....	71
Tabela 8 - Teste de distância utilizando o WiFi LoRa 32 .....	79
Tabela 9 - Teste de tamanho dos pacotes utilizados na transmissão .....	80
Tabela 10 - Teste da taxa de entrega com e sem repetidor Lora .....	81
Tabela 11 - Teste de eficiência do gateway.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	<i>Analog Digital Converter</i>
BAT	<i>Battery</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DAC	<i>Digital Analog Converter</i>
GND	<i>Ground</i>
GPIO	<i>General Purpose Input Output</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
KB	<i>Kilobyte</i>
KHz	<i>Kilohertz</i>
L	Leste
LED	<i>Light Emissor Diode</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MB	<i>Megabyte</i>
Mhz	<i>Megahertz</i>
N	Norte
NE	Nordeste
NO	Noroeste
NTC	<i>Negative Temperature Coeficient</i>
NUTES	Núcleo de Tecnologias Estratégicas em Saúde
O	Oeste
OLED	<i>Organic Light Emissor Diode</i>
ON	Ligado
PTC	<i>Positive Temperature Coeficient</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
QR CODE	<i>Quick Response Code</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	Rádio Frequência
ROM	<i>Read Only Memory</i>

RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
RTOS	<i>Real Time Operation System</i>
RX	<i>Reception/Upload</i>
S	Sul
SD	<i>Secure Digital</i>
SE	Sudeste
SO	Sudoeste
SRAM	<i>Static RAM</i>
SSID	<i>Service Set Identifier</i>
TX	<i>Transmission/Download</i>
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i>
VDC	<i>Voltage Direct Current</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 Contexto.....	16
1.2 Justificativa .....	18
1.3 Objetivos .....	20
1.3.1 Objetivo Geral .....	20
1.3.2 Objetivos Específicos .....	20
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
2.1 Meteorologia.....	21
2.2 Climatologia.....	21
2.2.1 Tempo.....	21
2.2.2 Clima .....	22
2.3 Elementos climáticos .....	22
2.3.1 Temperatura do ar .....	22
2.3.2 Umidade relativa do ar .....	22
2.3.3 Pressão atmosférica .....	22
2.3.4 Velocidade e Direção do Vento .....	22
2.3.5 Precipitação Pluviométrica (Chuva).....	23
2.4 Sensores .....	23
2.4.1 Sensor de Temperatura (Termômetro) .....	23
2.4.2 Sensor de Umidade (Higrômetro) .....	24
2.4.3 Sensor de Velocidade do Vento (Anemômetro) .....	24
2.4.4 Sensor de Direção de Vento (Biruta) .....	24
2.4.5 Sensor de Chuva (Pluviômetro) .....	24
2.5 Estação Meteorológica.....	25
2.6 ESP32.....	25
2.7 WiFi LoRa 32 .....	30
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	33
3.1 A Estação Meteorológica Automática com Tecnologia LoRa .....	33
3.2 Sensores .....	35
3.2.1 Anemômetro.....	36
3.2.2 Sensor de Direção do Vento.....	38
3.2.3 Pluviômetro .....	42
3.2.4 Termômetro e Higrômetro .....	46

3.3 Datalogger.....	49
3.4 Repetidor.....	62
3.5 Gateway .....	67
3.6 Aplicativo de Celular .....	71
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>78</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>84</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto

Uma estação meteorológica é uma estrutura instalada em um local onde são coletados dados para análise do clima desta região, equipadas com vários instrumentos ou sensores de medição que servem para registrar as possíveis variáveis meteorológicas e climáticas (INMET, 2012). As estações meteorológicas são classificadas como manuais ou automáticas. Quando os dados são coletados diretamente nos sensores por usuários ou profissionais que estejam monitorando os instrumentos, ela é considerada manual. Já quando todos os dados meteorológicos são coletados de forma automática e programada por sistemas de software sem intervenções humanas, é definida como uma estação automática. As estações automáticas podem inclusive transmitir e armazenar os dados coletados, agilizando o controle da coleta e reduzindo a probabilidade de erros em todo o processo (SILVA, 2016).

Uma estação meteorológica convencional é composta de vários sensores isolados entre si, que registram seus respectivos parâmetros. Os valores gerados por esses sensores são lidos e anotados por um observador a cada intervalo de tempo, e este os envia a um centro coletor por um meio de alguma comunicação arbitrária (BRAGA, 2011).

Enquanto que, uma estação meteorológica automática é caracterizada por sensores eletrônicos com emissão de sinais eletrônicos, gerenciados por um elemento computacional central. Esses equipamentos especialmente desenvolvidos para as mesmas finalidades dos equipamentos convencionais, são instalados em torres de observações, dispensando a presença do observador (VIANELLO, 2011).

Na maioria das estações meteorológicas de última geração, os dados coletados são enviados para computadores remotos, por meio de linhas telefônicas, rede GSM (Global System for Mobile Communications), satélite, entre outros meios de transmissão. Ao término da transmissão, nos computadores finais, os dados são analisados e assim torna-se possível a caracterização do clima da região (VIANELLO, 2011).

Desse modo, a coleta de dados meteorológicos por meio de uma estação meteorológica, apresenta importância em diversas áreas, principalmente na previsão do tempo, sistemas de controle de voo e monitoramento dos recursos naturais que impactam diretamente na qualidade de vida das pessoas, sendo também de grande importância para a agricultura e a prevenção de desastres. A qualidade dos dados coletados apresenta relação direta com o volume e a qualidade de dados meteorológicos disponibilizados (LOPEZ, 2015).

Sendo assim, desde os tempos antigos com a utilização de instrumentos de medição na idade média, que a análise e coleta de dados meteorológicos são informações que geram interesse da humanidade. Os dados climáticos são importantes, pois estão associados a várias atividades humanas, e auxiliam no desenvolvimento humano, na sustentabilidade ambiental, pois, para que a sociedade consiga se desenvolver de forma sustentável é necessário que ela possua políticas que controlem os recursos naturais, garantido a possibilidade de uma qualidade de vida adequada as gerações futuras, visto que os recursos naturais são finitos (OLIVEIRA, 2012).

Segundo NETO et al., (2018), as estações meteorológicas comerciais costumam ter um alto custo principalmente em áreas remotas onde praticamente não é feito nenhum tipo de medição para avaliar as condições climáticas do local. Por este motivo, se faz necessário o desenvolvimento de métodos e estratégias que possibilitem o desenvolvimento de estações mais acessíveis, como com a utilização de controladores e sensores de menor custo.

Dentre as diversas opções possíveis de microcontroladores comercializados na atualidade, tem-se o ESP32, um produto de alta performance pra aplicações envolvendo WiFi e Bluetooth, que conta com baixos custo e consumo de energia. O ESP32 permite criar variadas aplicações para projetos IoT (Internet of Things ou Internet das Coisas), acesso remoto, webservers e dataloggers. A série ESP32 emprega um microprocessador Tensilica Xtensa L106 dual-core e inclui uma antena integrada, RF (Rádio Frequência) tipo balun, amplificador de potência, receptor de baixo ruído amplificado, filtros e gerenciamento de energia dos módulos. O ESP32 foi criado e desenvolvido pela Espressif Systems, uma empresa chinesa com sede em Xangai e este produto é considerado o sucessor do microcontrolador ESP8266 (IBRAHIM, 2017).

Com o lançamento do ESP32, surgiram no mercado também vários kits de desenvolvimento úteis para os variados projetos de internet das coisas. Dentre os módulos que usam como base o ESP32, destaca-se o ESP32 WiFi LoRa, também conhecido como WiFi LoRa 32, do fabricante HELTEC. Este módulo emprega junto ao ESP32 da ESPRESSIF um chip adicional que possibilita, além das tecnologias já mencionadas no ESP32, também a tecnologia LoRa, tudo na mesma placa (BERTONELI, 2019).

A modulação LoRa é uma topologia de modulação proprietária baseado no Chirp Spread Spectrum (CSS), projetado para fornecer conectividade sem fio para dispositivos de baixa potência com alcance muito longo. A modulação LoRa sacrifica a taxa de dados em troca do longo alcance e baixo consumo de energia. Sabe-se que estações meteorológicas automáticas não necessitam de altas taxas de dados e podem se beneficiar dessas

características oferecidas pela tecnologia LoRa (ADITYAWARMAN, MATONDANG, 2018).

Percebeu-se que a implantação de estações meteorológicas automáticas é caracterizada também pelo preço elevado. Para que seja possível a realização deste trabalho, se faz necessário o uso de tecnologias e métodos alternativos de menor custo, como microcontroladores populares, meios de aquisição de dados e protocolos de comunicação abertos. O desenvolvimento de uma estação meteorológica automática utilizando tecnologia LoRa torna possível a transmissão dos dados monitorados, mesmo à uma distância na ordem de dois a dez quilômetros dos grande centros. Estas estruturas, suprem as necessidades de cobertura das mais diversas regiões, com custo consideravelmente baixo e confiabilidade dos valores obtidos, oferecendo à comunidade e ao meio científico acesso a parâmetros que anteriormente não se encontravam disponíveis nos sistemas de informação.

## **1.2 Justificativa**

A coleta de dados meteorológicos por meio de estações automáticas é de grande importância e consideravelmente viável, porém, a quantidade de estações em funcionamento hoje no país, é ainda inexpressiva. Segundo MUTERSPAW (2015), o volume de dados meteorológicos coletados no Brasil é considerado baixo.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2015) afirma que existem apenas quatrocentas estações meteorológicas no país, portanto são de extrema importância a popularização e a automatização dos equipamentos de coleta de dados. Deste modo, a medição de variáveis meteorológicas torna-se importante, visto que várias atividades humanas são diretamente e indiretamente afetadas por esses fatores.

As estações automáticas são consideradas a melhor opção para medições das variáveis meteorológicas, pois possuem bom desempenho, praticidade e confiabilidade, contudo, apresentam um custo muito elevado. Este alto preço desencoraja o uso dessas estações meteorológicas para diversos fins. Percebe-se também a dificuldade do uso desses equipamentos encontrada por profissionais e proprietários (KANDA, 2011).

De acordo com Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA/PB em 2019 a Paraíba conta com 21 estações meteorológicas automáticas, um número bastante escasso para representar as condições meteorológicas e climáticas de um estado com uma área de 56.585 km<sup>2</sup>. O estado de Pernambuco tem cerca de 73 estações automáticas, um número relativamente superior, mas não é tão significativo. Informações meteorológicas consistentes geram bastante interesse por parte dos estados, primeiro porque são informações

úteis para a previsão de tempo e clima, e, conseqüentemente, para os órgãos tomadores de decisão, segundo, porque existem políticas e ações governamentais na área social, que asseguram às regiões de semiárido, uma posição de prioridade concedida pela Constituição Federal de 1988. São diversos programas e linhas de financiamento que visam desenvolvimento de atividades produtivas coerentes com as peculiaridades do Nordeste semiárido. Na Paraíba, dos 223 municípios, 193 estão na região do semiárido. Podemos considerar a seguir, algumas políticas que possuem o Semiárido como região prioritária, e muitas vezes exclusiva, de atuação governamental:

- Crédito Fundiário;
- Seguro Safra para o Semiárido;
- PRONAF Semiárido;
- Fomento Brasil Sem Miséria;
- Programa Água Doce;
- Programa de Desenvolvimento da Aquicultura na Amazônia Legal e no Semiárido Brasileiro;
- Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural - Apoio a projetos de inovação tecnológica da agricultura familiar no Semiárido;
- Programa Agropecuária Sustentável;
- Programa de Pesquisa e Inovações para Agropecuária;
- Programa Água Para Todos;
- Zoneamento Ecológico-econômico da Bacia do São Francisco;
- Projeto - Reuso de Águas no Semiárido Brasileiro;
- Projeto de Integração do rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional; entre outros programas.

Portanto, este trabalho visa atender a demanda que existe nos estados e em suas respectivas agências executivas de gestão de águas, e que atualmente não conseguem serem supridas devido ao alto custo que é despendido na compra e manutenção de estações meteorológicas automáticas existentes no mercado. Deste modo, justifica-se o uso e implantação deste projeto em todo território nacional, em especial no nordeste brasileiro, região caracterizada predominantemente pelo clima semiárido, tendo em vista a carência de soluções inteligentes para as demandas pertinentes à meteorologia.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é promover o desenvolvimento de uma estrutura de hardware, firmware e software de uma estação meteorológica capaz de obter dados meteorológicos e transmitir os dados adquiridos à longa distância por meio da tecnologia LoRa até o registro destes em servidores na nuvem, possibilitando ainda a alternativa de exportação local dos dados por meio de uma mídia removível.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Para que se atinja o objetivo geral deste trabalho, é preciso que os objetivos específicos sejam contemplados. Os objetivos específicos deste trabalho se dividem nos seguintes tópicos:

- Desenvolver um modelo de uma estação meteorológica com sensores eletrônicos capazes de monitorar dados de temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento e precipitação. O protótipo em questão deve compor um equipamento eletrônico central que caracteriza um datalogger, capaz de interpretar, controlar e receber todos os sinais eletrônicos emitidos pelos sensores presentes na estação, assumindo o conceito de uma estação meteorológica automática.
- Implementar um firmware do datalogger da estação capaz de controlar todo o hardware da estação meteorológica, e com isso, enviar os dados interpretados para um segundo equipamento, via tecnologia LoRa, e possibilitar a exportação dos dados coletados por meio de uma mídia removível, como um cartão de memória do tipo SD.
- Construir um modelo de repetidor de sinais LoRa provenientes da estação meteorológica, para receber e retransmitir os dados enviados inicialmente pelo datalogger, de modo a ampliar consideravelmente o alcance dos dados até que estes possam alcançar pontos estratégicos com acesso à internet.
- Desenvolver um terceiro equipamento eletrônico, que assume a função de um gateway, sendo controlado por um firmware específico que deve ser implementado de modo a gerenciar a recepção de todos os dados emitidos do datalogger da estação por tecnologia LoRa e submetê-los à servidores na internet por meio de conexão WiFi.
- Desenvolver uma aplicação mobile para Android e IOs capaz de se conectar à internet e resgatar os dados meteorológicos monitorados pela estação em tempo real.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Meteorologia**

A meteorologia é definida pelo estudo de processos químicos, físicos e dinâmicos da atmosfera em relação a superfície terrestre. Entre seus objetos de interesse está o estudo dos fenômenos de tempo (curto período) através de informações decorrentes de diversas variáveis ambientais, entre elas: pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade, precipitação, nebulosidade, visibilidade e vento, que podem ser obtidas utilizando estações meteorológicas. (YNOUE et al., 2017).

Outrossim, a meteorologia também faz previsão do clima, gerando um prognóstico do estado da atmosfera em um local determinado em um tempo futuro, por meio de métodos matemáticos, computacionais e de equações físicas. Ou seja, é possível determinar tendências climáticas para os próximos meses, trimestres, estação e etc., para isso, também utiliza as informações obtidas com o uso das estações meteorológicas, nesse caso, uma série maior de dados se faz necessária. (YNOUE et al., 2017).

Dessa forma, a meteorologia apresenta importância para a sociedade, pois é capaz de gerar informações que possibilitem a previsão de desastres naturais de origem atmosférica que estão associados a eventos severos de tempo como: pancadas de chuva, granizo, ventanias, rajadas, tempestades e inundações. Portanto, essas condições atmosféricas influenciam diretamente nas atividades humanas como: moradia, saúde, atividades de setores diversos como a aviação, agricultura, recursos hídricos, construção civil, estratégias militares, entre outros (SILVA, 2005).

### **2.2 Climatologia**

A climatologia é uma área do conhecimento, que se dedica ao estudo dos climas, dando ênfase a observação do tempo atmosférico, classificando os climas, investigando suas influências e os fenômenos que podem vir a acontecer (ALMEIDA, 2016).

#### **2.2.1 Tempo**

O tempo é caracterizado por meio do estado físico das condições atmosférica em um determinado momento, em que é realizado uma observação em um período curto de horas, dias e semanas. Deste modo, este termo também pode influenciar o estado físico da atmosfera sobre as atividades do homem e a sua vida (CRUZ, 2005; INMET, 2019).

### **2.2.2 Clima**

O clima se caracteriza por um conjunto de informações (pressão, temperatura, umidade) referentes as condições da atmosfera, em um período cronológico específico e local determinado. Desta forma, o clima se diferencia do tempo pois este refere-se ao estado médio da atmosfera, que pode ser deduzido por meio da média dos eventos atmosféricos durante um longo período, sendo meses, anos ou até séculos. Assim, o tipo de clima depende de uma série de fatores, como radiação solar, relevo, latitude e altitude, que também pode ser alterada por meio da presença humana (CRUZ, 2005).

### **2.3 Elementos climáticos**

As grandezas que podem ser medidas em um dado local e instante, como temperatura, umidade, pressão atmosférica chuva e radiação solar, que caracterizam o estado da atmosfera, compõem os elementos climáticos, que também são conhecidos como variáveis climáticas (YNOUE et al., 2017).

#### **2.3.1 Temperatura do ar**

Ynoue *et al.*; (2017) define a temperatura do ar como sendo a quantidade de calor atmosférico em um determinado lugar, que pode ser expressada por meio da unidade de medida de graus Celsius (°C).

#### **2.3.2 Umidade relativa do ar**

A umidade relativa do ar é definida pela relação entre a quantidade máxima de vapor de água que o ar retém (ponto de saturação) e a quantidade de vapor de água que existe no ar (umidade absoluta), que é expressa em porcentagem (LAMBERTS, 2011; YNOUE *et al.*, 2017).

#### **2.3.3 Pressão atmosférica**

O peso que é exercido por uma coluna de ar sobre a superfície terrestre, define a pressão atmosférica. Esta, assume uma unidade de medida em hectopascal (hPa) (YNOUE et al., 2017).

#### **2.3.4 Velocidade e Direção do Vento**

O vento ou circulação atmosférica é caracterizado pela movimentação de ar. Essa movimentação é definida pela interação entre tempo de duração de massa de ar (escalas temporais) e pelo seu tamanho (escalas espaciais). Este fenômeno remete à velocidade do ar que normalmente utilizada como parâmetro de medição de estações meteorológicas, que é

medida em quilômetros por hora (km/h). A direção do ar por sua vez, é indicada por meio dos quatro pontos cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste) e os pontos colaterais (Nordeste, Sudeste, Sudoeste e Noroeste) (YNOUE et al., 2017).

### **2.3.5 Precipitação Pluviométrica (Chuva)**

Segundo Cavalcanti (2000), a Precipitação Pluviométrica (ou Chuva), é o processo pelo qual a água condensada na atmosfera atinge gravitacionalmente a superfície terrestre. As precipitações se originam de nuvens formadas pelo resfriamento por expansão adiabática de massas de ar que se elevam na atmosfera. A unidade de medida da precipitação é o milímetro (mm).

## **2.4 Sensores**

Define-se sensores como algum dispositivo utilizado para mensurar fenômenos físicos que são sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, tais como pressão atmosférica, umidade relativa do ar, temperatura, chuva, entre outras. Tipicamente, os sensores possuem um elemento transdutor e fornecem um sinal elétrico que corresponde à grandeza física medida. Por outro lado, um dispositivo transdutor converte uma forma de energia em outra ou altera uma determinada grandeza elétrica, como tensão elétrica indutância, capacitância ou resistência elétrica (SEIÇA, 2011).

### **2.4.1 Sensor de Temperatura (Termômetro)**

O Sensor de temperatura é um dispositivo de medição responsável por detectar a temperatura a partir de uma característica física correspondente ao dispositivo, como algumas grandezas elétricas, como resistência ou tensão elétrica, por exemplo. Os principais tipos de sensores de temperatura são os termopares e os termistores (SHINGUE, 2008).

Os termopares são sensores de medição de temperatura, formados por dois condutores metálicos de composição diferentes, sejam eles puros ou homogêneos. Em uma das extremidades da junção, são unidos e soldados, na outra extremidade em que os metais ficam abertos é apresentado uma diferença de potencial de circuito aberto, proporcional à (FRANÇA, 1997).

Os termistores são caracterizados por alterar a resistência elétrica de acordo com a variação de temperatura e são construídos, tipicamente, a partir de materiais semicondutores que são sintetizados e prensados de várias formas. Os termistores são divididos basicamente em dois tipos distintos sendo com coeficiente de temperatura negativo (NTC) e com coeficiente de temperatura positivo (PTC). Os termistores do tipo NTC se comporta de modo

que a resistência cai de forma não linear com o aumento da temperatura, enquanto que os termistores do tipo PTC se comporta de modo que a resistência aumenta à medida que a temperatura aumenta. (COSTA, 2014).

#### **2.4.2 Sensor de Umidade (Higrômetro)**

O higrômetro é um aparelho utilizado para possibilitar a medição da umidade de gás ou vapor na atmosfera. Foi criado em 1820 pelo cientista inglês John Frederic Daniell e é feito de substâncias capazes de absorver a umidade atmosférica, como o cabelo humano (ELIAS, 2014).

#### **2.4.3 Sensor de Velocidade do Vento (Anemômetro)**

Os anemômetros são os sensores capazes de determinar a velocidade de vento. Os modelos de anemômetros mais conhecidos para uso em estações meteorológicas são os rotacionais, podendo ser do tipo “aviãozinho”, que é do tipo rotacional sobre um eixo de catraca horizontal, e o mais comum que é o modelo que possui um rotor horizontal do tipo concha de Robinson (COSTA, 2014).

Os anemômetros do tipo concha de Robinson são formados por três ou mais conchas montadas simetricamente, formando ortogonais com um eixo vertical. Independente da direção onde o vento sopra o conjunto de conchas faz mover um mecanismo que aciona o dispositivo usado para contar o número rotações, esse dispositivo pode ser interpretado por meio de um encoder, reed switch, entre outros meios eletrônicos (COSTA, 2014).

#### **2.4.4 Sensor de Direção de Vento (Biruta)**

A Biruta é um dispositivo utilizado para medir a direção de vento. Este é um instrumento constituído por um cone de tecido flexível aberto em ambos os lados, sendo que a abertura da frente é maior e é acoplada a um arco. Quando o vento sopra através destas aberturas, a biruta é orientada na posição horizontal apontando a direção do vento. Conforme tem corrido muito em estações meteorológicas mais recentes, este instrumento é inteiramente visual, mas pode ser facilmente acoplado a um sistema eletrônico para medir a posição do seu eixo (MOURA et al., 2018).

#### **2.4.5 Sensor de Chuva (Pluviômetro)**

Pluviômetros são equipamentos capazes de medir a quantidade de chuva ocorrida em determinado ponto do espaço terrestre. Normalmente o pluviômetro é composto de um reservatório e uma superfície/área coletora (Ac) que é a “boca” do pluviômetro, normalmente

de forma afunilada, que possibilitam a totalização dos valores em intervalos temporais diferenciados (MILANESI et al., 2017).

## 2.5 Estação Meteorológica

Uma Estação Meteorológica é um equipamento capaz de realizar a coleta, a medição e o registro dos fenômenos climáticos. A finalidade de uma estação meteorológica é de possibilitar um monitoramento das variáveis climáticas e não de fazer uma previsão do tempo. As informações que são geradas por elas são realizadas por termômetros, barômetro, higrômetro, anemômetro, cata-vento ou biruta, entre outros instrumentos, cada um com responsabilidade de captar um elemento climático. De um modo geral, existem dois tipos de estações meteorológicas: automáticas e convencionais (SANTOS et al., 2016).

As estações meteorológicas automáticas, integram sensores eletrônicos para a medição de inúmeras variáveis climáticas. Todos os dados são enviados para uma central, denominada de datalogger, onde programas computacionais integram todas as informações e permitem uma análise das condições climáticas. As informações meteorológicas são coletadas de minuto a minuto e, a cada hora, estes dados são integrados e disponibilizados para serem transmitidos para uma central de meteorologia, via *wireless* (rede sem fio), GPRS (Serviços Gerais de Pacote por Rádio) ou satélite (SANTOS et al., 2016).

Nas estações meteorológicas convencionais, o monitoramento é realizado presencialmente e periodicamente por técnicos que coletam os dados, por meio de instrumentos dispostos numa determinada área, sistematizando estas informações e criando um banco de dados. As medições são realizadas quatro vezes por dia, impreterivelmente às 00, 06, 12 e 18 UTC (Coordenada de Tempo Universal) - 3 horas, ou seja, menos 3 horas do horário de Brasília (SANTOS et al., 2016).

## 2.6 ESP32

O ESP32 foi criado e desenvolvido pela Espressif Systems, uma empresa chinesa com sede em Xangai e este produto é considerado o sucessor do microcontrolador ESP8266. Este microcontrolador atualmente faz parte de diversas placas de desenvolvimento, ampliando as possibilidades de profissionais desenvolverem novas soluções baseadas em WiFi e Bluetooth, contando ainda com um baixo custo e baixo consumo de energia. Desse modo, o ESP32 permite criar variadas aplicações para projetos IoT, acesso remoto, webservers e dataloggers (IBRAHIM, 2017).

Conforme descrito por IBRAHIM (2017), o ESP32 possui em sua estrutura inúmeros itens e recursos, descritos a seguir.

- CPU: A CPU opera em 160MHz e pode operar em até 240 MHz.
- Memória Interna: Uma memória interna de 512 KB de SRAM e 448KB de ROM (para boot) está disponível no chip. O módulo contém 8 KB de memória lenta e 8KB de memória rápida. 1 KB de eFuse está disponível com 256 bytes usados para o endereço MAC e as configurações do chip, e os 768 bytes restantes reservados para aplicativos customizados.
- Memória Externa: São suportadas até 4x16MB de flash externo e memória SRAM que podem ser acessadas através de um cache de alta velocidade. Até 16MB do flash externo são mapeados no espaço de código da CPU e até 8 MB do flash externo/SRAM são mapeados no espaço de dados da CPU. Embora a leitura de dados seja suportada no flash e na SRAM, a gravação de dados é suportada apenas na FLASH.
- Temporizadores de Propósito Geral: São suportados 4x64Bytes de temporizadores controláveis por software para uso geral. Os temporizadores têm pré-escaladores de 16 bits (0 a 65535) e carregadores automáticos para contadores crescentes e decrescentes. Os temporizadores podem gerar interrupções se configurados.
- Temporizadores Watchdog: Três temporizadores watchdog com valores programáveis estão disponíveis no módulo. Dois destes, estão reservados para uso de propósito geral, enquanto que o terceiro está reservado para o módulo RTC. As ações tomadas quando um temporizador watchdog é reiniciado, podem ser uma das seguintes: interrupção, reinicialização da CPU, redefinição do núcleo e reinicialização do sistema
- Relógio do Sistema: Um cristal externo controla a temporização do sistema quando o processador é reiniciado. A frequência do clock é tipicamente 160MHz, configurada com a ajuda de um PLL. Um clock interno de 8MHz também está disponível no módulo. O programador pode selecionar o clock interno ou externo. O RTC pode ser cronometrado usando um cristal externo de 32KHz, um oscilador RC interno (tipicamente de 150KHz), um oscilador interno de 8MHz, ou um clock interno de 31,25KHz derivado dividindo o oscilador interno de 8MHz por 256.
- Transmissores: O módulo ESP32 possui módulos transmissores e receptores de 2,4GHz para os módulos de comunicação WiFi e Bluetooth.
- Entradas e Saídas de Propósito Geral (GPIO): Existem 39 GPIOs que podem ser configuradas como tela de toque digital, analógica ou capacitiva. Os GPIOs digitais podem ser configurados para ter resistores PULL-UP ou PULL-DOWN internos e

ainda podem ser configuradas para comportamento de alta impedância. Os pinos de entrada podem ser configurados para aceitar interrupções ou nas mudanças de nível.

- **Conversor Analógico Digital (ADC):** O módulo ESP32 inclui 18 canais de ADC de 12 bits, ou seja, com capacidade de realizar leituras na sensibilidade de 0 a 4095. Tensões analógicas pequenas podem ser medidas configurando alguns dos pinos como amplificadores de ganho programáveis.
- **Conversor Digital Analógico (DAC):** O ESP32 inclui dois DACs independentes de 8 bits.
- **Sensor Hall** Um sensor do tipo Hall está disponível no módulo baseado em um resistor. Uma pequena medida de tensão é realizada pelo ADC quando o sensor está envolvido e um campo magnético.
- **Sensor interno de Temperatura:** Um sensor de temperatura interno analógico está disponível e este pode ser utilizado para medir a temperatura interna do processador entre  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$ . A medida de temperatura é convertida em forma digital usando um ADC. A medida geral da temperatura pode ser afetada pela temperatura do chip e os módulos ativos. Deste modo, o sensor é recomendado apenas para o monitoramento do próprio módulo, haja vista que quanto maior a quantidade de recursos de hardware a ser utilizado, maior será o aquecimento do módulo.
- **Sensores de Toque:** Estão disponíveis no módulo até 10 sensores de toque capacitivos que podem detectar as mudanças capacitivas quando um pino GPIO está em contato direto com um dedo ou qualquer outro objeto adequado.
- **UART:** Três UARTs com velocidades de até 5Mbps são fornecidas para comunicações RS232, RS485 e IrDA serial.
- **Interface I2C:** O ESP32 suporta até dois canais de interface I2C que podem ser configuradas como modos mestre ou escravos. A interface suporta 400 Kbits/s de transferência com um modo de endereçamento de 7/10 bits. Os dispositivos externos compatíveis com o barramento I2C podem ser conectados a esses pinos.
- **Interface I2S:** O módulo ESP32 suporta até duas interfaces de barramento I2S que podem ser configuradas como modo mestre ou escravo, em full ou half duplex. A frequência do relógio podem ser de 10KHz a 40MHz.
- **Interface SPI:** O módulo apresenta até 4 interfaces SPI nos modos mestre e escravo. Dispositivos externos compatíveis com a interface de barramento SPI podem ser conectados a esses pinos.

- Controladores Infravermelho: Oito canais de transmissão de controle remoto por infravermelho programáveis estão disponíveis no módulo. As formas de onda de transmissão e recepção podem ser armazenadas em memória compartilhada de 512x32 bits.
- Modulação por Largura de Pulso (PWM): As saídas PWM são usadas para controlar dispositivos como motores, aquecedores elétricos, luzes inteligentes, entre outros. O módulo dispõe de um hardware PWM programável e 16 módulos PWM configuráveis por software.
- LED PWM: O LED PWM pode ser usado para gerar até 16 formas de onda digital independentes com ciclos e períodos de serviço configuráveis. O ciclo de trabalho pode ser alterado via software.
- Contador de Pulsos: São fornecidos até 8 canais de contadores de pulso para capturar e contar pulsos. Uma interrupção pode ser gerada quando a contagem atingir um valor predefinido.
- Aceleração de Hardware: O ESP32 suporta aceleradores de hardware para implementar operações em algoritmos como AES, SHA, RSA e ECC. Esses aceleradores ajudam a aumentar as operações e também reduzem a complexidade do software.
- Outras informações relevantes do hardware: A placa possui um conector mini USB para ser conectada ao PC. A placa também é alimentada pela mesma USB. A tensão padrão da conexão USB é de +5V, esta por sua vez é convertida numa tensão de +3,3V para ser usada no decorrer na placa. Existem também dois botões conectados à placa, nomeados como EN e BOOT, que assumem as seguintes funções:
  - EN: Este é o botão de RESET e tem função de reiniciar a placa quando pressionado.
  - BOOT: Este é o botão de download. A placa se encontra normalmente no modo de operação quando o botão não está pressionado. Ao manter pressionado este botão e, ao mesmo tempo, pressionar o botão EM, inicia o modo de download do firmware, no qual o firmware pode ser enviado para o processador através da porta serial USB.

Deste modo, pode-se classificar, de acordo com a tabela a seguir, os principais recursos do módulo ESP32 e suas placas derivadas.

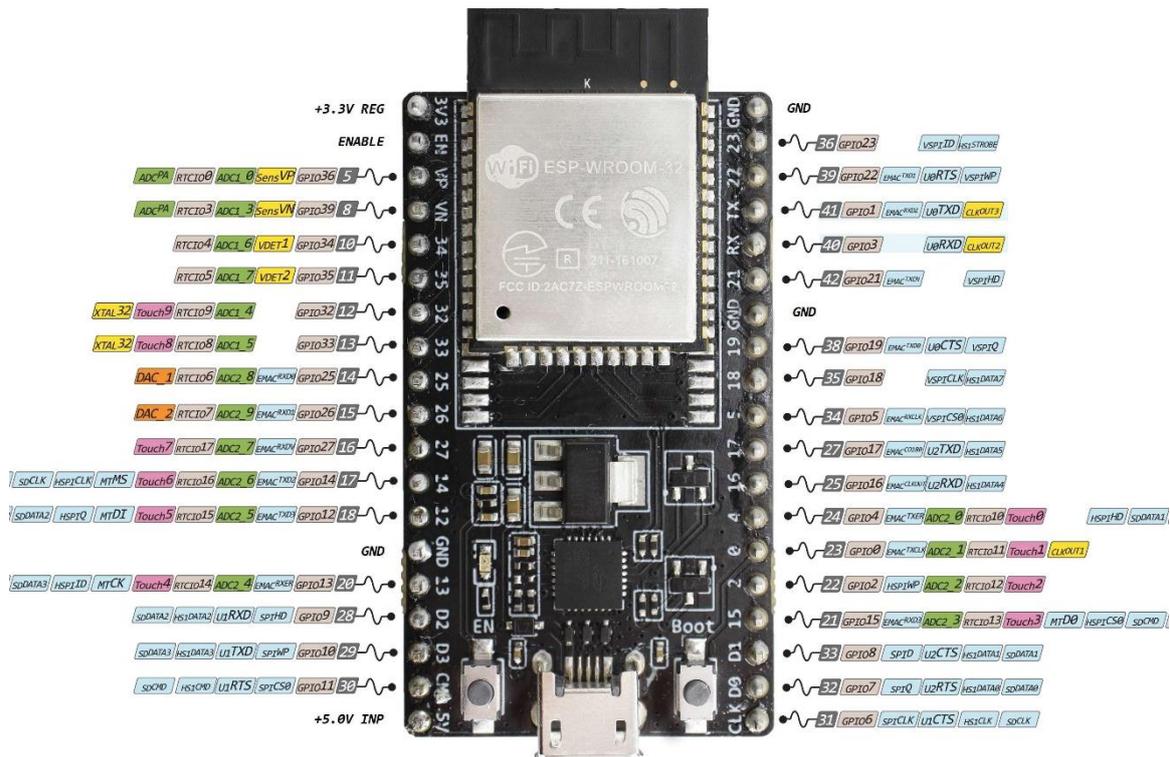
Tabela 1 - Especificações principais do ESP32

<b>Descrição</b>	<b>Especificações do ESP32</b>
CPU	32-bit Xtensa L106 Dual-core
Frequência Operacional	160MHz
Bluetooth	Bluetooth 4.2
WiFi	Sim (HT 40)
Memória SRAM	512 KB
Memória FLASH	16MB
GPIOs	39
Hardware PWM	1
Software PWM	16
Interfaces SPI/I2C/I2S/UART	4/2/2/2
CAN	1
ADC	18 de 12-bits
DAC	2
Sensor de Toque / Sensor de Temperatura	10/1
Interface Ethernet MAC	1

Fonte: IBRAHIM, 2017.

Além do microcontrolador descrito anteriormente, a Espressif também apresenta uma placa de desenvolvimento construída baseado no ESP32, esta placa é denominada de ESP32 DevKitC. Conforme detalhado na figura 1 a seguir, tem-se o PINOUT da placa ESP32 DevKitC pela Espressif (2017).

Figura 1 - Pinout ESP32 DevKitC



Fonte: Espressif, 2017.

## 2.7 WiFi LoRa 32

A Placa WiFi LoRa 32 é um produto desenvolvido pela empresa chinesa Heltec Automation, direcionado ao mundo de Internet das Coisas. A ideia do produto é oferecer mais algumas tecnologias, além das tecnologias já presentes no ESP32. O WiFi LoRa 32 apresenta um acréscimo de uma nova estrutura de rádio na mesma placa, que possibilita a transmissão e recepção de dados com um longo alcance. O componente responsável pela transmissão e recepção de dados com longo alcance é o chip SX1276, que também pode ser substituído pelos chips SX1277, SX1278 e SX1279. Todos esses módulos realizam a mesma função, porém assumem diferenças mínimas, uma delas é o intervalo de frequência (KURNIAWAN, 2019).

Conforme fornecido pela Semtec (2018), empresa responsável pelo desenvolvimento dos chips LoRa, a tabela abaixo descreve as diferenças básicas do ponto de vista técnico de cada um dos módulos.

Tabela 2 - Diferença entre os módulos LoRa SX12XX

<b>Referência</b>	<b>Frequência</b>	<b>Largura de Banda</b>	<b>Taxa de Bits</b>	<b>Sensibilidade</b>
SX1276	137 – 1020 MHz	7.8 – 500 KHz	.018 – 37.5 Kbps	-111 até -139 dBm
SX1277	137 – 1020 MHz	7.8 – 500 KHz	0.11 – 37.5 Kbps	-111 até -148 dBm
SX1278	137 – 525 MHz	7.8 – 500 KHz	.018 – 37.5 Kbps	-111 até -148 dBm
SX1279	137 – 960 MHz	7.8 – 500 KHz	.018 – 37.5 Kbps	-111 até -148 dBm

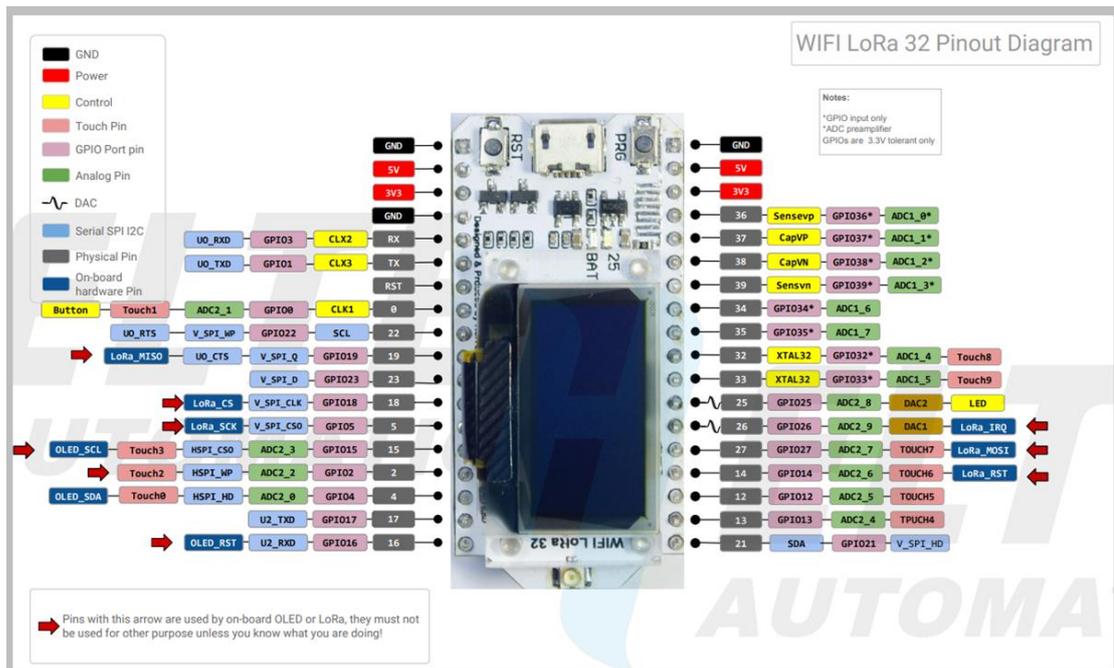
Fonte: Semtech, 2018.

O módulo conserva todas as tecnologias oferecidas pelo ESP32, ou seja, continua equipado com WiFi, Bluetooth Low Energy e o processador Tensilica LX6 dual core operando com até 240Mhz de velocidade, porém agora com o transceptor de LoRa SX127X capaz de realizar transmissões sem fio na frequência de 137/1020MHz com um baixo consumo de energia e mantendo o longo alcance. Para realizar a interface homem maquina, foi utilizado no projeto o display OLED de 0,96 polegada e cor Azul, tendo uma resolução de 128x64 pixels e baixíssimo consumo de energia por se tratar de tecnologia OLED. Para concretizar a comunicação com o PC (a conversão USB/Serial), é utilizado um chip, também embarcado, CP2102 da Silicon LAB (HELTEC, 2018).

Deste modo, é possível desenvolver inúmeras aplicações de automação residencial, industrial, rural, sistemas de localização, infraestrutura de serviços, controle remoto de sensores e atuadores entre outras muitas aplicações voltadas à IoT e M2M (HELTEC, 2018).

A identificação dos pinos (PINOUT) do LoRa está devidamente identificada na figura 2 a seguir, considerando que este encontra-se instalado sobre a placa do ESP32. Os pinos utilizados pelo WiFi LoRa 32 estão identificados com setas vermelhas nas extremidades dos pinos e devem ser descartadas do uso geral da aplicação caso seja utilizada a tecnologia LoRa. Uma observação interessante é que o a placa WiFi LoRa 32 apresenta características próprias da Heltec, que se apresentam um pouco diferentes da Espressif, e por este motivo os pinos encontram-se em lugares diferentes, sendo necessária toda uma esquematização dos pinos e suas funções. Apesar da localização diferente, as funções dos pinos continuam as mesmas, ou seja, no caso da GPIO36, também se encontra no mesmo pino as demais funções, como ADC0 e SVP (BERTONELI, 2019).

Figura 2 - Pinout WiFi LoRa 32



Fonte: Heltec, 2018.

Conforme mencionado pela Espressif (2017) e pela Heltec (2018), é importante observar que, no ESP32 quando habilitado a tecnologia WiFi, as portas ADC2 passam a serem utilizadas pelo WiFi e, portanto, encontram-se ocupadas. Deste modo, observa-se que o ADC2 também se encontra em uso quando habilitada a tecnologia LoRa que são os mesmos pinos ocupados pelo WiFi. Deste modo, estas tecnologias devem ser utilizadas uma por vez e nunca simultaneamente

### 3 METODOLOGIA

Nessa seção, serão abordadas as principais etapas de construção da estação meteorológica, desde a montagem dos sensores, datalogger, estrutura metálica de suporte, até o meio de comunicação, engenharia de software e organização dos componentes eletrônicos. Serão detalhadas as etapas de construção dos circuitos eletrônicos e a devida descrição das funções de cada um deles, levando em consideração a organização, funcionalidade, segurança dos dados adquiridos e transmissão destes.

#### 3.1 A Estação Meteorológica Automática com Tecnologia LoRa

Esta sessão descreve as considerações gerais de toda a construção do projeto da Estação Meteorológica Automática com Tecnologia LoRa, desde a topologia de rede, firmware desenvolvido, software mobile utilizado na disposição dos dados, etapas do processo de transmissão, elementos presentes e comunicação entre os dispositivos. Os detalhes específicos dos elementos serão abordados nas sessões adiante.

O projeto da estação é composto por cinco sensores, sendo eles capazes de monitorar temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade do vento e precipitação. O datalogger, um elemento eletrônico central presente na estação, por sua vez interpreta todos os sinais eletrônicos emitidos pelos sensores e os converte para as grandezas de engenharia, sendo elas °C (para temperatura); % (para umidade relativa do ar); Km/H (para velocidade do vento); N, NE, L, SE, S, SO, O, NO (para direção do vento) e mm (para incidência de chuva).

Uma vez interpretados e convertidos em unidades de engenharia, os valores são armazenados temporariamente na memória RAM do datalogger e enviados em seguida por tecnologia LoRa para o segundo meio, podendo este ser um Repetidor LoRa ou o Gateway, a depender do espaço e região onde toda a estrutura encontra-se instalada. Os dados são armazenados temporariamente na memória RAM do datalogger para possibilitar a comparação dos novos valores com os dados anteriormente registrados, de modo a obter-se os valores mínimos e máximos das últimas horas por exemplo, como a temperatura máxima e mínima nas últimas 24h, além de realizar o registro de chuva, haja vista que este tipo de registro é contabilizado baseado no histórico de ocorrência de chuva. Estas variações armazenadas na memória RAM também são enviadas no pacote de dados. Os dados coletados dos sensores são tratados e convertidos a todo momento, mas o envio de novas informações é repassadaa pelo datalogger a cada minuto.

Caso exista um repetidor LoRa localizado entre o elemento datalogger e o elemento gateway, o repetidor irá receber os pacotes de dados emitidos pelo datalogger e retransmiti-los de forma omnidirecional, ou seja, para todas as direções, até outro elemento, podendo ser um outro repetidor ou um gateway, seguindo as mesmas regras.

Caso haja uma instalação de um gateway localizado à uma distância inferior à de um repetidor, o gateway recebe os pacotes emitidos pelo datalogger e os envia para um servidor na internet de forma imediata, apenas verificando com antecedência se o pacote enviado pela última vez é diferente do pacote atual para evitar a repetição de informações.

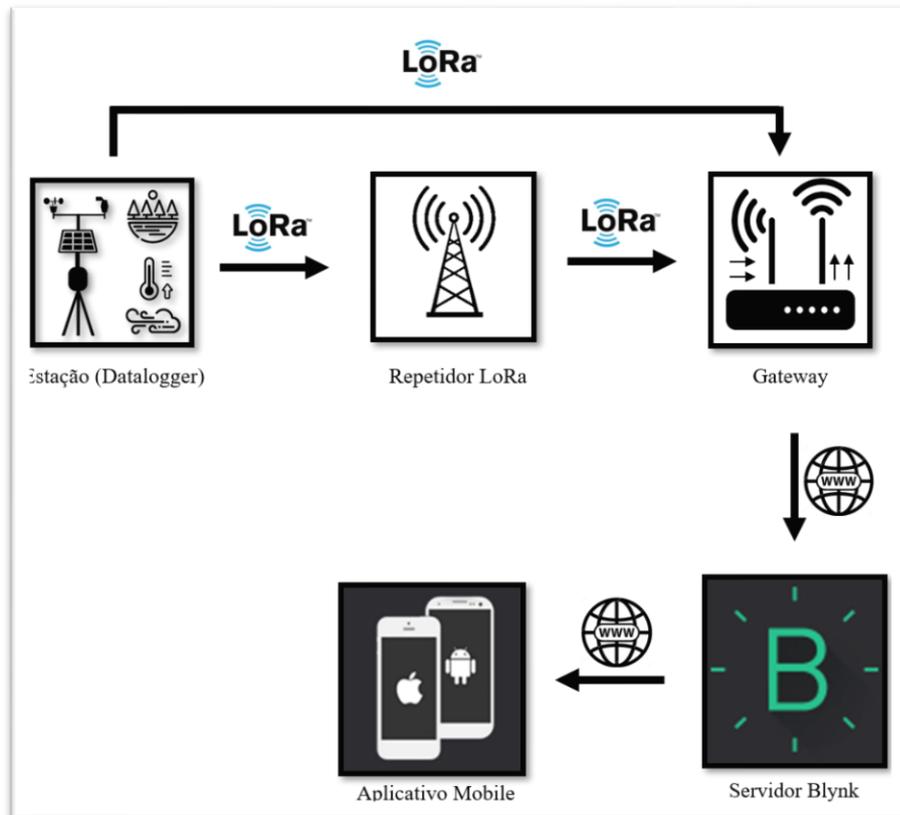
O Servidor Blynk, na internet, armazena os dados coletados de forma não volátil, segura e definitiva. O servidor armazena e gerencia os dados de modo a fornecer estes quando for solicitado por algum cliente na internet, como aplicativos de celular ou páginas web por exemplo. No caso deste projeto, foi desenvolvido um aplicativo para celular, podendo ser utilizado por qualquer aparelho cujo sistema operacional é o Android ou iOS.

O aplicativo de celular por sua vez, solicita a todo momento os dados presentes no Servidor Blynk. O servidor fornece os dados armazenados de modo a manter atualizadas as informações mostradas no dispositivo mobile.

Baseado nas regras definidas acima, a figura 3 a seguir mostra como ocorre o fluxo de informações dos dados entre os elementos principais de comunicação presente no projeto da estação.

É válido lembrar que os equipamentos desenvolvidos neste projeto, envolve o Datalogger, o Repetidor Lora e o Gateway. O Servidor Blynk é um serviço pré-definido, enquanto que o aplicativo mobile foi desenvolvido de forma personalizada, porém utilizando apenas as ferramentas disponibilizadas pelo próprio framework do Blynk.

Figura 3 - Topologia geral do projeto



Fonte: Autor, 2019.

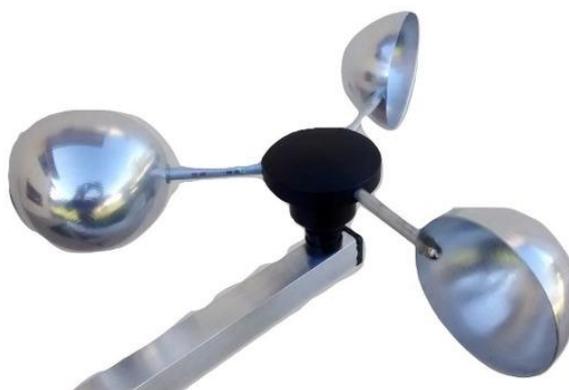
### 3.2 Sensores

Nesta sessão serão abordados os sensores utilizados neste trabalho, bem como os métodos desenvolvidos para interpretá-los corretamente, como rotinas de firmware e circuitos eletrônicos auxiliares que possibilitam a leitura desses dados pelo datalogger. É importante lembrar, que os circuitos eletrônicos abaixo relacionados com cada tipo de sensor, foram implantados dentro do elemento datalogger, de modo a evitar o aumento excessivo de volume em cada tipo de sensor. Ao conectar cada sensor ao datalogger, este será interpretado e controlado com auxílio do respectivo circuito eletrônico no interior do datalogger. Caso os circuitos auxiliares fossem empregados anexo aos sensores (fora do datalogger), cada sensor iria assumir volumes maiores e com isso uma considerável possibilidade de danos aos respectivos circuitos poderiam ocorrer. Deste modo, o datalogger assume não somente a responsabilidade de registrar os valores lidos, mas também a responsabilidade de possibilitar o correto funcionamento de cada um dos sensores que compõem o projeto da estação.

### 3.2.1 Anemômetro

O sensor de velocidade do vento (anemômetro) opera de modo a emitir uma quantidade de rotações, dentro de um espaço de tempo. Baseado neste resultado obtido pelo elemento datalogger, é possível calcular a velocidade do vento. A figura 4 adiante, mostra uma visão geral da estrutura do anemômetro utilizado neste trabalho.

Figura 4 - Anemômetro



Fonte: WR Kits, 2018.

O anemômetro opera de forma rotacional e é interpretado de acordo com a quantidade de pulsos emitidos, a base de tempo adotada para a medição (período de monitoramento), o raio da haste do sensor, entre outros parâmetros da estrutura. Os pulsos deste sensor são emitidos por meio de um ciclo completo que uma das conchas trafega. A seguir estão descritos os parâmetros necessários para o cálculo da velocidade do vento. As siglas demarcadas em negrito representam esta mesma grandeza dentro da equação matemática para este cálculo. Em seguida, são apresentadas as equações utilizadas para o cálculo da velocidade do vento em Km/H.

- Velocidade do vento em Km/H: **Vel**
- Raio do sensor em milímetros: **R = 147mm**
- Período de monitoramento em milissegundos: **P = 60000**
- PI: **PI = 3.1415926535897932384626433832795**
- Rotações por minuto: **RPM**
- Contador de pulsos dentro do período de amostragem: **CP**

Figura 5 - Determinar o número de rotações por minuto do anemômetro

$$RPM = CP \times 60 \times \frac{1000}{P}$$

Fonte: Autor, 2019.

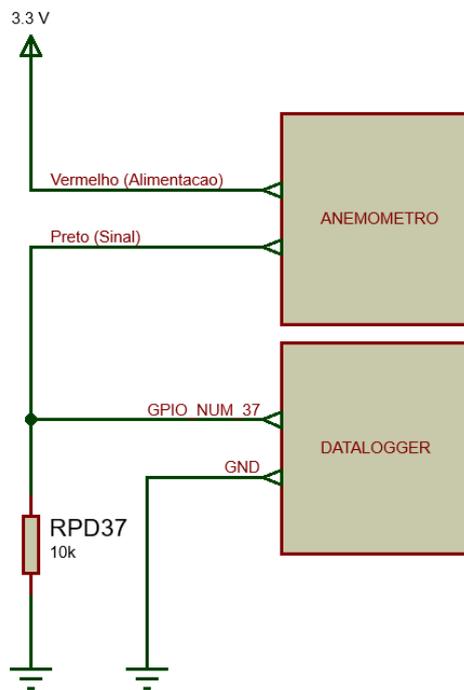
Figura 6 - Equação para determinar a velocidade do vento

$$Vel = 4 \times PI \times R \times RPM$$

Fonte: Autor, 2019.

O anemômetro utilizado é um produto do fabricante WR, ao qual possui dois terminais eletrônicos. Os terminais deste sensor são diferenciados por meio de duas cores (vermelho e preto), sendo o terminal de cor vermelho a alimentação do sensor e o terminal de cor preto, o retorno de sinal do anemômetro (pulsos). Para auxiliar na interpretação dos sinais emitidos pelo anemômetro, foi necessário desenvolver um circuito auxiliar incluso no interior do datalogger, que caracteriza um resistor PULLDOWN (RPD37) de 10K. O circuito auxiliar do anemômetro está representado na figura 5 adiante. É importante observar que o terminal do datalogger responsável por realizar a leitura do anemômetro está definido como o GPIO\_NUM\_37.

Figura 7 - Circuito auxiliar do anemômetro



Fonte: Autor, 2019.

Com a configuração do anemômetro estabelecida desta forma, é realizado o monitoramento da velocidade do vento.

### 3.2.2 Sensor de Direção do Vento

O sensor de direção do vento (biruta) opera de modo a emitir valores de tensão elétrica (V) de acordo com a direção do vento. A estrutura interna do sensor representa um divisor de tensão com 8 derivações, deste modo cada derivação representa uma posição do sensor e também uma direção específica do vento, sendo estas os quatro pontos cardiais (N, L, S e O) e também os quatro pontos colaterais (NE, SE, SO, NO). A tabela a seguir aborda o significado destas siglas.

Tabela 3 - Relação das direções interpretadas pelo sensor de direção do vento

<b>Sigla</b>	<b>Direção</b>
N	Norte
NE	Nordeste
L	Leste
SE	Sudeste
S	Sul
SO	Sudoeste
O	Oeste
NO	Noroeste

Fonte: Autor, 2019.

A figura adiante, mostra uma visão geral da estrutura do sensor de direção do vento que foi utilizado neste trabalho. Este modelo é desenvolvido pelo fabricante WR Kits.

Figura 8 - Sensor de direção do vento



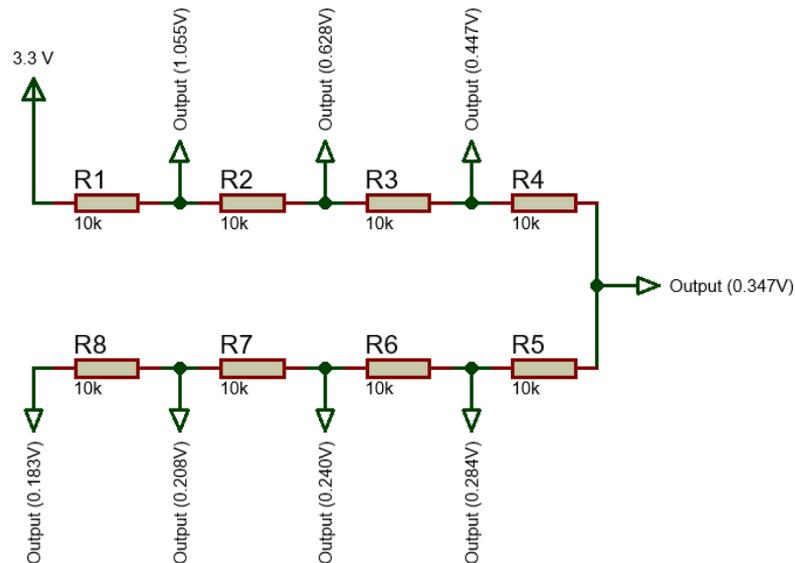
Fonte: WR Kits, 2019.

O sensor de direção do vento opera de forma rotacional, mas diferente do anemômetro, ela se mantém fixa quando o fluxo de vento se estabiliza em uma direção única. O monitoramento é considerado mais eficiente nos momentos em que a haste de direção se encontra com seu indicador fixo. O Eixo de rotação da biruta é livre e ela pode girar para qualquer direção, desde que a força exercida do vento possa ocorrer minimamente para direcionar a haste de direção.

Como o dispositivo indicador de direção do vento atua como um divisor de tensão, é necessário a compreensão interna deste sensor para que seja possível implementar um

firmware capaz de interpretá-lo corretamente. A figura a seguir representa a estrutura interna da biruta com um divisor de tensão de 8 derivações.

Figura 9 - Estrutura eletrônica interna do sensor de direção do vento



Fonte: Autor, 2019.

Os valores de tensão fornecidos em cada uma das derivações do sensor são deduzidos de acordo com os valores dos resistores internos, bem como a tensão de alimentação do sensor. A equação a seguir representa a dedução de cada valor de tensão elétrica (V) emitido pelo sensor. A tensão de alimentação considerada é de 3.3V<sub>cc</sub> (V<sub>in</sub>).

Figura 10 - Dedução da tensão de saída emitida pelo sensor de direção do vento

$$V(out) = \frac{4700}{R1 + \dots + Rn} \times V(in)$$

Fonte: Autor, 2019.

É importante observar que o resistor R<sub>n</sub> em uso em dado momento (em dada direção) trata-se do último resistor antes da derivação, o que significa que no denominador da equação considera um somatório de todos os resistores até a derivação a ser utilizada. Cada derivação do diagrama eletrônico acima, representa uma posição do indicador de direção. Assim, o sensor habilita uma das possíveis saídas, desabilitando as demais. Cada saída do divisor de tensão é considerada uma tensão diferente, sendo ela inversamente proporcional à resistência

acumulada pelas demais derivações. Deste modo, podemos diferenciar cada uma das possíveis saídas como uma direção específica do vento. A partir desta análise, foi possível construir a tabela a seguir, de acordo com os possíveis valores de tensão de saída e as respectivas direções do vento emitidas pelo sensor.

Tabela 4 -Tensão de saída e direções do sensor de direção do vento

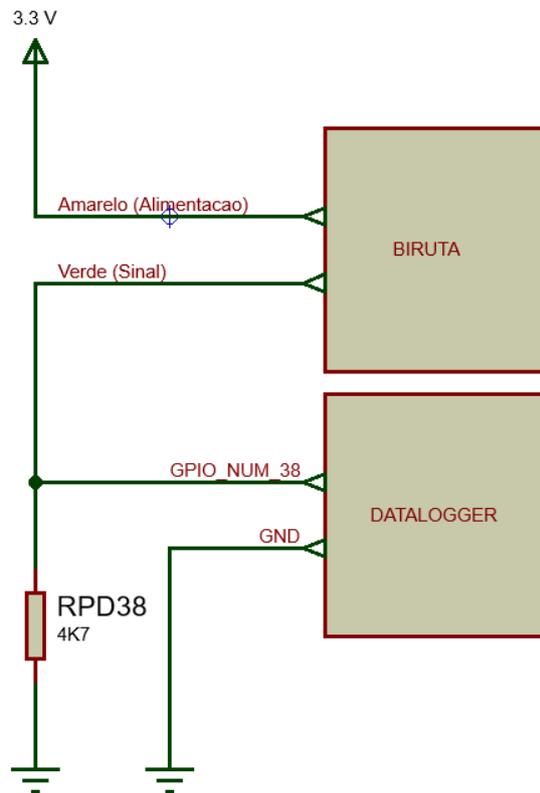
<b>Identificação da Saída (Tensão do sinal)</b>	<b>Posição do Indicador</b>
Output (1.055V)	0° - N
Output (0.628V)	45° - NE
Output (0.447V)	90° - E
Output (0.347V)	135° - SE
Output (0.284V)	180° - S
Output (0.240V)	225° - SO
Output (0.208V)	270° - O
Output (0.183V)	315° - NO

Fonte: Autor, 2019.

Estes valores de tensão só são possíveis de serem interpretados caso seja válida a existência de um resistor PULLDOWN de 4K7, finalizando assim a configuração de todo o sistema de direção do vento.

O sensor possui dois terminais eletrônicos, estes terminais são diferenciados por meio de duas cores (amarelo e verde), sendo o terminal de cor amarelo a alimentação do sensor e o terminal de cor verde, o retorno de sinal da biruta (tensão de saída). Para auxiliar na interpretação dos sinais emitidos pela biruta, foi necessário desenvolver um circuito auxiliar incluso no interior do datalogger, utilizando o resistor PULLDOWN mencionado. O circuito auxiliar da biruta está representado na figura adiante. É importante observar que o terminal do datalogger responsável por realizar a leitura da biruta está definido como o GPIO\_NUM\_38.

Figura 11 - Circuito auxiliar do sensor de direção do vento



Fonte: Autor, 2019.

Com a configuração do anemômetro estabelecida desta forma, é realizado o monitoramento da velocidade do vento.

### 3.2.3 Pluviômetro

O sensor de incidência de chuva utilizado neste trabalho, foi o TB-4. Este componente adotado é um sensor pluviométrico que possui um orifício de 8 polegadas cuja função é medir volumes de chuva. É perfeito para locais onde as chuvas mais intensas podem ocorrer. O sensor TB-4 é um modelo fabricado pela Campbell e seu método de transmissão de dados ocorre por meio de pulsos lógicos.

O sensor TB-4 tem formato semelhante à de um balde, porém, existe uma estrutura afunilada na parte superior. A figura 12 a seguir, mostra uma visão geral sobre o sensor TB-4.

Figura 12 - Sensor TB-4

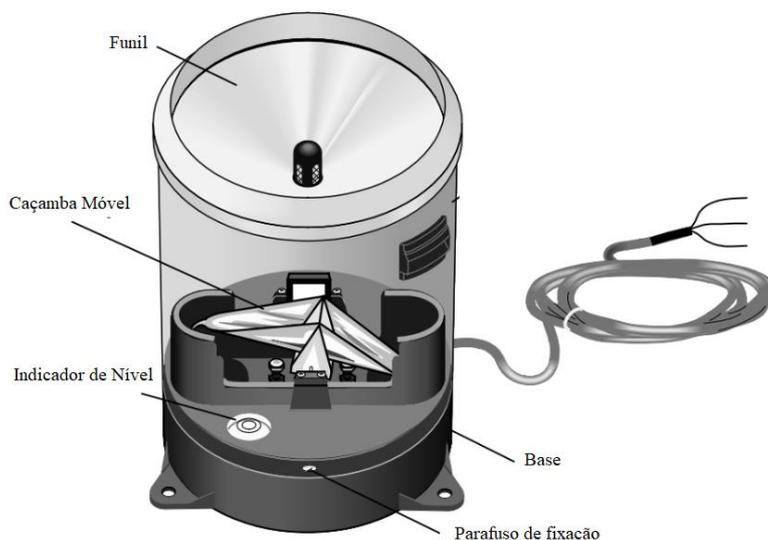


Fonte: Campbell, 2018.

O sensor TB4 afunila a precipitação com um mecanismo de caçamba, quando ele for preenchido, inclinará seu nível de modo a despejar a água para o meio externo. E cada ciclo pode ser marcado pelo fechamento do interruptor das duas lâminas e gravado por um canal de contagem dos pulsos que é direcionado ao datalogger. Após a medição, a água é drenada através de dois orifícios (tubulação de 12mm) na base, que permitirá que a água seja medida e coletada em um recipiente separado.

A figura a seguir mostra em detalhes da estrutura interna do sensor de precipitação.

Figura 13 - Detalhes internos do TB-4



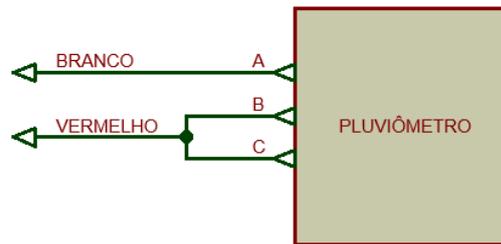
Fonte: Campbell, 2018.

O TB-4 possui um mecanismo de sifão interno que faz com que a chuva flua a uma taxa constante para o mecanismo da caçamba móvel, independente da intensidade da chuva. O sifão permite que o sensor realize medições precisas em uma faixa de 0 a 50mm por hora.

O sensor TB-4 trabalha com emissão de pulsos, ou seja, sinais digitais que são emitidos a cada vez que o sensor é comutado pelo acúmulo de água. O sistema remete ao sensor trabalhar sempre em nível lógico alto, e quando ocorrer comutação (transição) entre os estados do sensor, o mesmo passa a emitir um pulso de nível lógico baixo temporariamente no momento da transição. Ao finalizar a transição, o sensor volta a emitir nível lógico alto e o ciclo se repete intermitentemente desde que ocorra a condição para este evento, ou seja, o preenchimento completo da caçamba móvel.

O diagrama eletrônico do sensor TB-4 identifica três terminais que devem ser interligados ao datalogger. O terminal A trata-se do terminal responsável por enviar os sinais de cada comutação (pulso) do sensor para o controlador central. O terminal B trata-se de um terminal que deve ser interligado ao GND como forma de alimentação, haja vista que este trabalha com nível lógico baixo (emissão de pulsos do GND do sistema). O terminal C trata-se de um terminal que deve ser interligado também ao GND do sistema de modo a reduzir a impedância do cabo. Deste modo, conclui-se que o sensor possui dois terminais úteis apenas, sendo um de sinal para o datalogger (A) e os outros dois restantes para a alimentação por meio do GND (B e C). A figura a seguir representa o diagrama eletrônico que representa os três terminais e a devida conversão para oferecer apenas dois terminais ao datalogger.

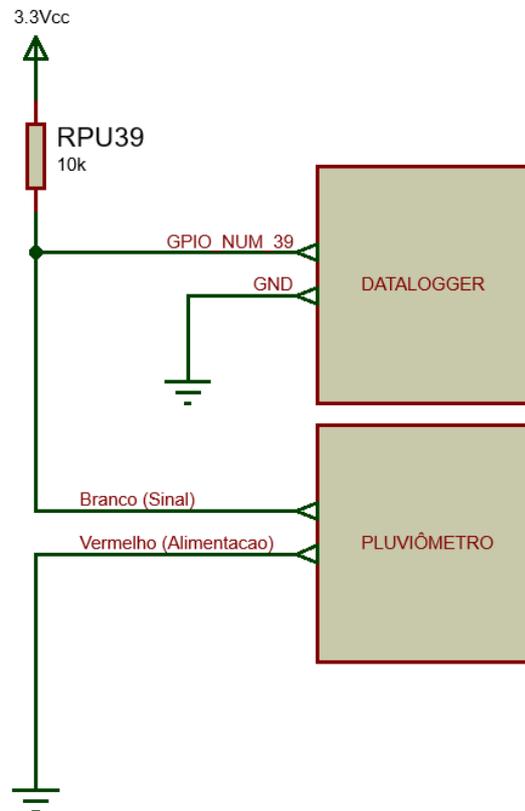
Figura 14 - Representação interna do pluviômetro



Fonte: Autor, 2018.

Os dois terminais eletrônicos do sensor de precipitação podem ser diferenciados por meio de duas cores (vermelho e branco), sendo o terminal de cor vermelho a alimentação do sensor e o terminal de cor branca, o retorno de sinal do pluviômetro. Para auxiliar na interpretação dos sinais emitidos pela TB-4, foi necessário desenvolver um circuito auxiliar incluso no interior do datalogger, utilizando um resistor PULLUP conforme. O circuito auxiliar do pluviômetro está representado na figura adiante. É importante observar que o terminal do datalogger responsável por realizar a leitura do pluviômetro está definido como o GPIO\_NUM\_39.

Figura 15 - Circuito auxiliar do pluviômetro



Fonte: Autor, 2019.

Com a configuração do pluviômetro estabelecida desta forma, é realizado o monitoramento da incidência de chuva.

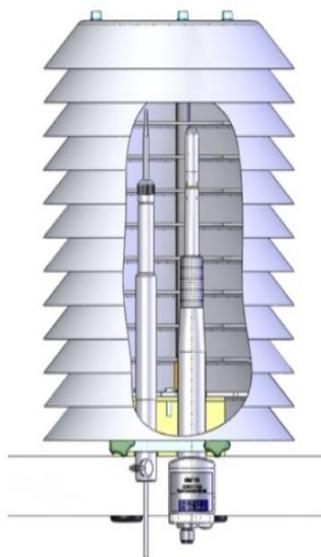
### 3.2.4 Termômetro e Higrômetro

O sensor de temperatura e umidade relativa do ar (termômetro e higrômetro, respectivamente) adotado neste trabalho opera de modo a emitir valores contínuos de tensão elétrica (V) de forma análoga à temperatura e umidade, às quais encontram-se submetidos. Neste trabalho foi utilizado o sensor HMP 155 do fabricante Vaisala, este sensor tem capacidade de emitir valores de temperatura ambiente e também de umidade relativa do ar de forma encapsulada, por meio de um único sensor. Por este motivo utilizou-se o mesmo sensor para realizar a leitura das duas grandezas.

O conjunto do sensor HMP 155 é composto por uma estrutura escamosa externa para proteger o sensor, peça interna, em forma de bastão que fica posicionado em seu interior conforme a figura a seguir. A proteção externa do HMP155 serve para protegê-lo de

influências que possam alterar os valores medidos, como interferências de insetos e sujeitas. A figura 16 a seguir detalha a estrutura geral do HMP 155.

Figura 16 - Detalhes internos do HMP 155



Fonte: Vaisala, 2018.

O modo de transmissão dos valores emitidos pelo HMP 155 é feito por meio de dois terminais específicos com sinais contínuos, de forma proporcional e linear, emitindo um sinal de 0 ~ 1 Vdc de acordo com a faixa de temperatura e umidade medida. A faixa de operação do sensor é de  $-80^{\circ}\text{C}$  até  $+60^{\circ}\text{C}$  para a medição de temperatura e de 0% até 100% para a medição de umidade. Um fator importante sobre o HMP 155 é que este deve ser alimentado para entrar em funcionamento. A tensão nominal de alimentação do HMP 155 é de +12Vdc, deste modo, os terminais de dados só são habilitados depois da alimentação do sensor. As funções dos terminais eletrônicos deste sensor são identificadas de acordo com as cores dos fios, sendo eles: Fio Vermelho (alimentação +12Vdc), Fio Preto (GND), Fio Amarelo (Sinal de Temperatura) e Fio azul (Sinal de Umidade).

Levando em consideração a faixa de temperatura e umidade que o sensor HMP155 é capaz de atuar e também os valores de tensão que este pode emitir no momento da leitura, pode-se então deduzir as seguintes equações abaixo para se calcular estas grandezas:

Figura 17 - Equação formulada para o cálculo da temperatura por meio do HMP155

$$T = \left( V_{lido} \times \frac{(T_{max} - T_{min})}{V_{max12Bits}} \right) + T_{min}$$

Fonte: Autor, 2019.

Onde,

- Temperatura em °C: **T**
- Temperatura máxima aceita pelo sensor: **Tmax = +60 °C**
- Temperatura mínima aceita pelo sensor: **Tmin = -80 °C**
- Valor decimal máximo representável em 12 bits: **Vmax12bits = 4095**
- Valor decimal lido pelo microcontrolador representável em 12 bits: **Vlido.**

Figura 18 - Equação formulada para o cálculo da umidade por meio do HMP155

$$U = \left( V_{lido} \times \frac{(U_{max} - U_{min})}{V_{max12Bits}} \right) + U_{min}$$

Fonte: Autor, 2019.

Onde,

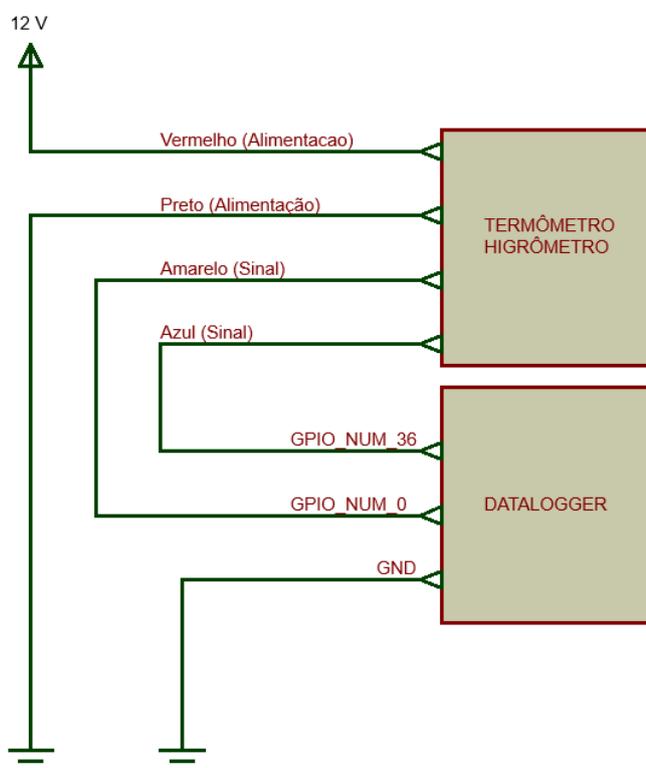
- Umidade em %: **U**
- Umidade máxima aceita pelo sensor: **Umax = 100%**
- Umidade mínima aceita pelo sensor: **Umin = 0%**
- Valor decimal máximo representável em 12 bits: **Vmax12bits = 4095**
- Valor decimal lido pelo microcontrolador representável em 12 bits: **Vlido.**

Por meio destas equações, foi possível implementar e calcular os valores de temperatura e umidade respectivamente utilizando o datalogger, obtendo ao término das operações estes valores concretos.

Como definido anteriormente, dos quatro terminais eletrônicos do sensor de temperatura e umidade, dois deles são utilizados para a transmissão de sinais eletrônicos que representam as respectivas grandezas. A leitura desses valores é realizada por meio dos pinos

do datalogger, GPIO\_NUM\_0 pra temperatura e GPIO\_NUM\_36 para umidade. O diagrama a seguir mostra como foi organizada as ligações eletrônicas para interpretação deste sensor.

Figura 19 - Diagrama eletrônico para integração do HMP 155



Fonte: Autor, 2019.

Com esta configuração do pluviômetro estabelecida, é realizado o monitoramento da temperatura ambiente e também da umidade relativa do ar.

### 3.3 Datalogger

Nesta sessão serão abordados todos os métodos utilizados para a construção do datalogger, desde o desenvolvimento do circuito eletrônico, firmware capaz de realizar toda a aquisição de dados, interpretação, controle, armazenamento até a transmissão dos pacotes responsáveis por envolver as informações coletadas.

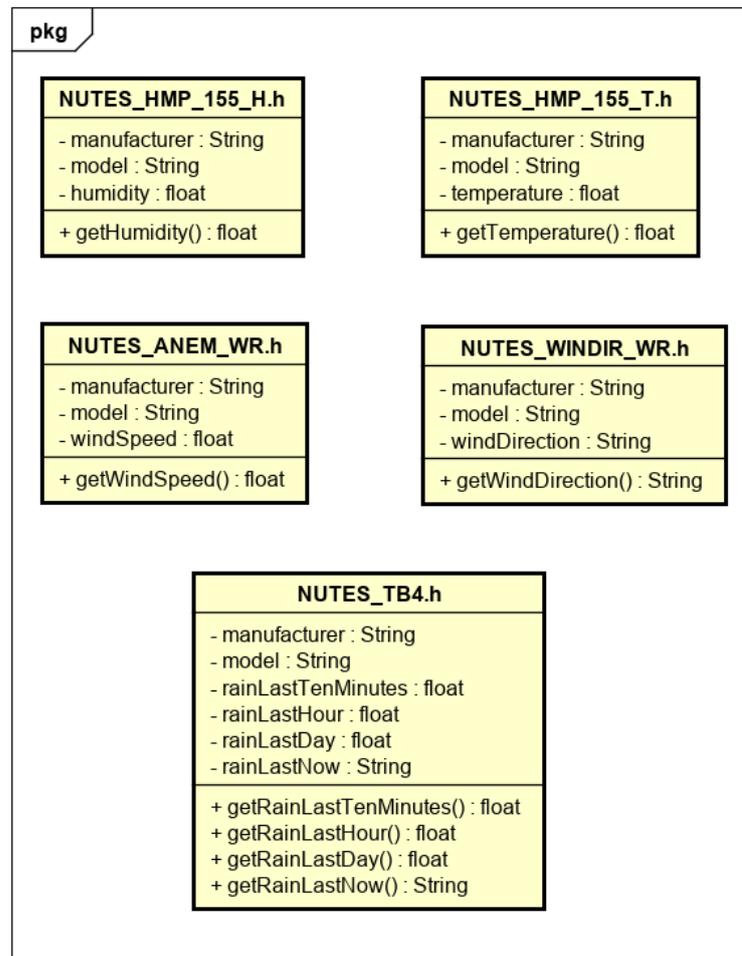
O datalogger foi construído utilizando como elemento principal o WiFi LoRa 32, uma placa de desenvolvimento fabricada pela empresa Heltec Automation baseada na construção do ESP32, um produto da empresa Espressif. Dentre os elementos presentes em todo o projeto da estação meteorológica, o datalogger assume a função de receber os dados fornecidos pelos sensores, interpretá-los, armazenar as informações coletadas em uma mídia removível (cartão

SD) e, por fim, transmiti-los para a próxima etapa do processo, ou seja, o repetidor ou o gateway, por meio de tecnologia LoRa. Além dessas operações, o datalogger possui também um relógio que foi implementado para possibilitar quando os sensores devem ser lidos, quando a bateria do sistema deve ser verificada, os prazos de gravação, transmissão e frequência de envio dos pacotes.

A implementação do datalogger foi realizada tomando como base a modelagem do firmware que foi desenvolvido previamente para auxiliar no processo de codificação e manter o controle do processo de construção por meio de técnicas adotadas de engenharia de software. Para tal, foi desenvolvido um diagrama de atividades que reflete o funcionamento e as operações do datalogger, além de cinco diagramas de classe que representam a modelagem para uso dos sensores utilizados na estação.

Os diagramas de classe foram desenvolvidos para descrever a estrutura de software de cada um dos sensores, bem como métodos e atributos particulares de cada um deles, haja vista que os sensores utilizados para este trabalho assumem modelos, fabricantes, grandezas e operações de ordem diferentes. Como o foco do trabalho foi majoritariamente o desenvolvimento do datalogger, se fez necessário realizar a construção destas classes representadas pelos diagramas conforme a figura a seguir.

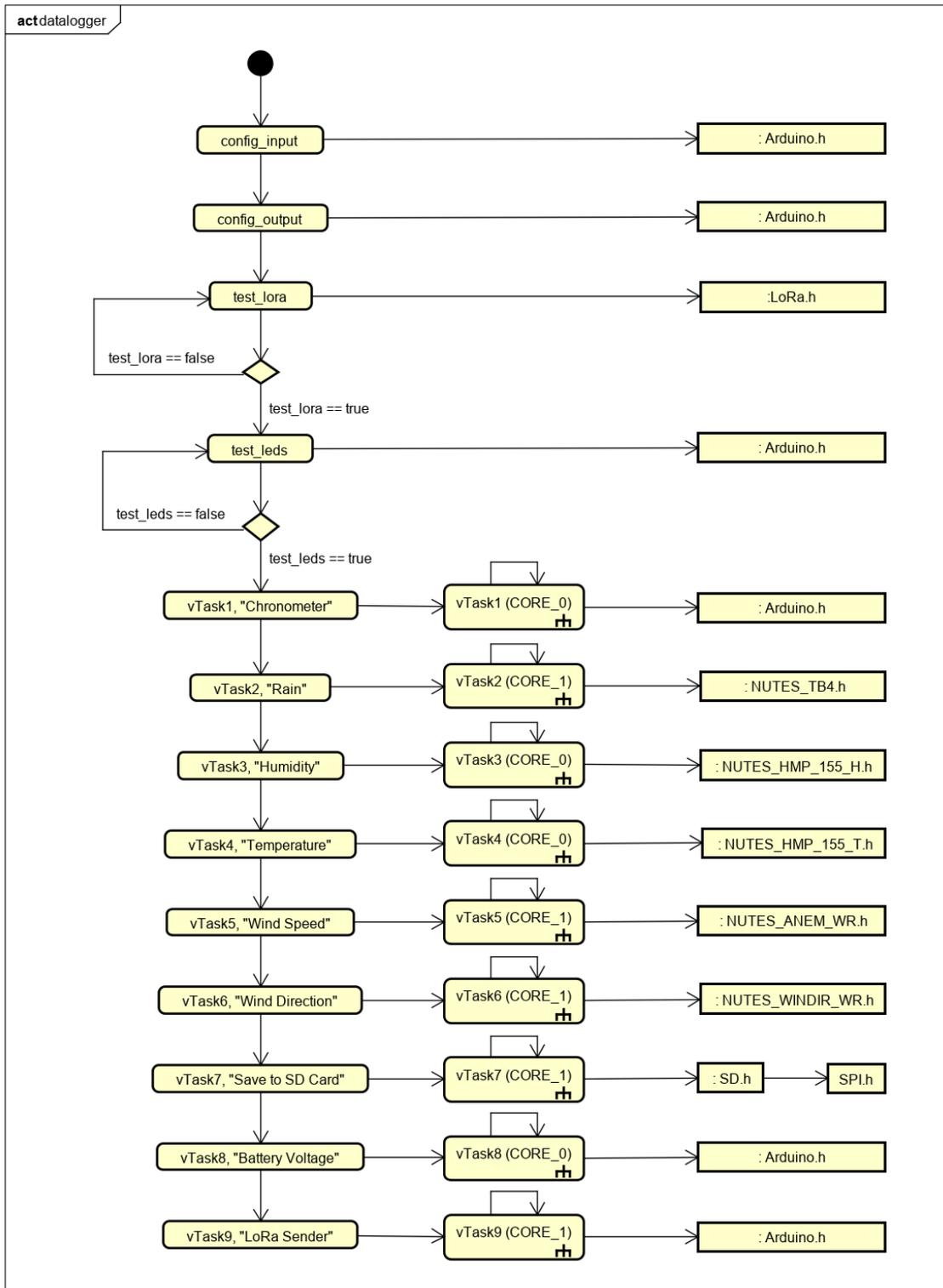
Figura 20 - Diagrama de Classe dos sensores



Fonte: Autor, 2019.

Além do desenvolvimento dos diagramas de classe, se fez necessário modelar também um diagrama de atividade que pudesse representar todo o fluxo de operações, tarefas e atividades do datalogger. Como o projeto trata-se de uma estrutura de baixo nível, adotou-se o diagrama de atividade como melhor alternativa para representar e modelar o sistema de firmware. A figura a seguir mostra este diagrama de atividade.

Figura 21 - Diagrama de Atividade do datalogger



Fonte: Autor, 2019.

Conforme indicado no diagrama de atividade, o datalogger funciona com base em nove tasks. Estas tasks assumem operações constantes e não possuem fim, sendo assim, todas

elas operam em loops infinitos. Para realizar estas definições, foi utilizado o FreeRTOS, um sistema operacional de tempo real (RTOS), atualmente mantido pela Amazon Web Services. A figura a seguir mostra como foi definida as tasks de todo o datalogger utilizando o FreeRTOS tornando-as coerente com o diagrama de atividade acima.

Figura 22 - Definição das tasks do datalogger utilizando o FreeRTOS

```
xTaskCreatePinnedToCore(vTask1, "Chronometer", 6000, NULL, 1, NULL, CORE_0);
xTaskCreatePinnedToCore(vTask2, "Rain", 6000, NULL, 1, NULL, CORE_1);
xTaskCreatePinnedToCore(vTask3, "Humidity", 6000, NULL, 1, NULL, CORE_0);
xTaskCreatePinnedToCore(vTask4, "Temperature", 6000, NULL, 1, NULL, CORE_0);
xTaskCreatePinnedToCore(vTask5, "Wind Speed", 6000, NULL, 1, NULL, CORE_1);
xTaskCreatePinnedToCore(vTask6, "Wind Direction", 6000, NULL, 1, NULL, CORE_1);
xTaskCreatePinnedToCore(vTask7, "Save to SD Card", 5000, NULL, 1, NULL, CORE_0);
xTaskCreatePinnedToCore(vTask8, "Battery Voltage", 2000, NULL, 1, NULL, CORE_0);
xTaskCreatePinnedToCore(vTask9, "LoRa Sender", 6000, NULL, 1, NULL, CORE_1);
```

Fonte: Autor, 2019.

A definição de cada task é realizada utilizando o método *xTaskCreatePinnedToCore* informando como parâmetro o nome formal desta tarefa (nesse argumento, é necessário passar um ponteiro para a função que implementará a tarefa). Em seguida o nome descritivo informal (ou seja, o nome da tarefa, em uma sequência), que deve ser utilizado para intitular um apelido na task. Em seguida tem-se o a quantidade de memória que deve ser alocada para esta tarefa (que representa o tamanho da pilha da tarefa, especificado como o número de bytes), seguido de algum parâmetro que a função da tarefa possa receber), seguido da prioridade desta tarefa, a prioridade aumenta conforme é aumentado este valor. Para este projeto, adotou-se todas as tarefas como sendo de igual prioridade. Em seguida, tem-se o campo onde é definido o valor opcional caso seja necessário manipulação das tarefas (Handle). Por fim temos a identificação do número do processador a se responsabilizar pela execução desta tarefa. Como o ESP32 assume dois processadores, foram utilizados ambos os núcleos para realizar as tarefas do datalogger.

Cada task ocupa uma fração específica de um período de um minuto, ao término deste tempo essas tasks são alocadas em status de suspensão para que os valores gerados por elas possam ser manipulados por outras tasks sem que haja manipulação das mesmas variáveis por tasks diferentes. A função de cada task está definida a seguir, bem como suas particularidades.

- **vTask1 “Chronometer”**: Responsável por gerenciar a contagem do tempo utilizado pelo datalogger para contabilizar rotinas, definir o tempo de retomada e pausa de cada task, assim como escalonar os períodos de envio de pacotes e gravação dos dados no cartão SD.

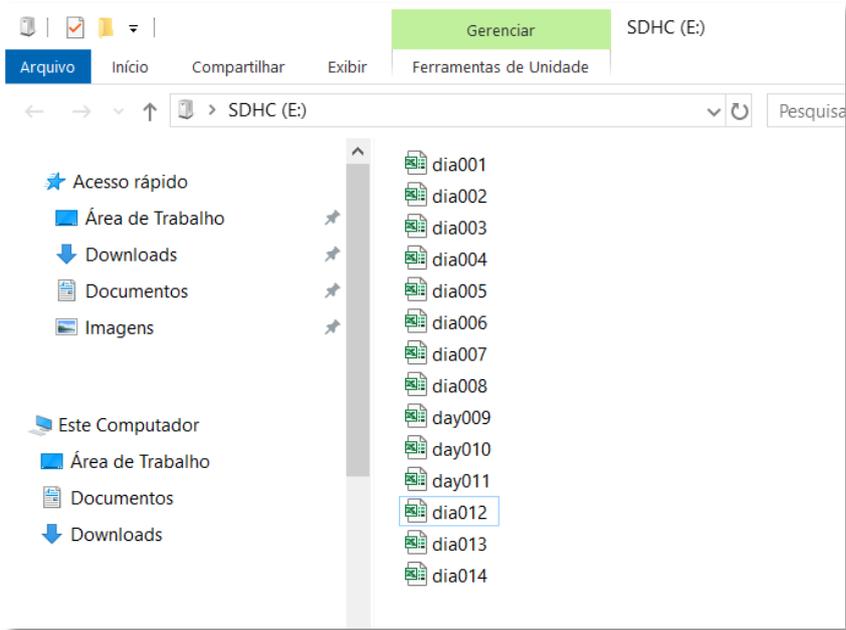
Esta task é utilizada para a correta sincronia de todas as atividades que se baseiam no tempo, desde a frequência de uso, até o tempo de operação necessário para cada uma das demais tarefas.

- **vTask2 “Rain”:** Responsável por interpretar os sinais do sensor de chuva (TB-4) determinando se existe ou não incidência de chuva em tempo real, além dos valores de chuva acumulado nos últimos dez minutos, na última hora e no último dia (24h). A verificação do sensor de chuva por meio da vTask2 ocorre de forma repetida em um período de um minuto. Em caso da interpretação do pulso emitido pelo sensor de chuva, a vTask2 incrementa os valores de chuva em 0.2mm nas variáveis de chuva e mantém esses valores, em mm, ativos até que o período de registro seja transcrito, ou seja, mantém os valores válidos durante 10 minutos para a variável “rainLastTenMinutes”, uma hora para a variável “rainLastHour” e um dia para a variável “rainLastDay”, além de enviar uma string informando “SIM” ou “NÃO” por meio da variável “rainNow”, que indica que no atual momento está ocorrendo chuva no local da estação.
- **vTask3 (Humidity):** Responsável por interpretar os sinais emitidos pelo sensor de umidade (HMP 155), determinando o valor da umidade relativa do ar no período da leitura. Esta task monitora de forma repetida a umidade relativa do ar por aproximadamente um minuto, em seguida calcula a média dos valores obtidos e finaliza a operação registrando a umidade em %.
- **vTask4 (Temperature):** Responsável por interpretar os sinais emitidos pelo sensor de temperatura (HMP 155), determinando o valor da temperatura ambiente no período da leitura. Esta task monitora de forma repetida a temperatura ambiente por aproximadamente um minuto, em seguida calcula a média dos valores obtidos e finaliza a operação registrando a temperatura em °C.
- **vTask5 (Wind Speed):** Responsável por interpretar os sinais emitidos pelo sensor de velocidade do vento (anemômetro), determinando qual a velocidade atual do vento ou em um período determinado de tempo. Esta task monitora os sinais do anemômetro por um minuto e registra, ao término deste período, o valor da velocidade do vento em Km/H
- **vTask6 (Wind Direction):** Responsável por interpretar os sinais emitidos pelo sensor de direção do vento, determinando qual direção atual do vento neste período de monitoramento. Esta task realiza aproximadamente 60 leituras deste sensor por minuto, obtendo valores emitidos por meio dos divisores de tensão do sensor de direção do vento. A cada amostragem o valor lido é registrado e ao término do período de amostragem é

calculado o valor médio das leituras realizadas neste período. Cada leitura representa uma angulação do indicador de direção em relação à direção norte e conseqüentemente à respectiva direção do vento, conforme mencionado na sessão 3.2.2. Por fim, é calculado o valor médio das amostragens e deduzido a direção do vento neste período de amostragem.

- **vTask7 (Save to SD Card):** Responsável por fazer todos os registros da estação meteorológica no cartão SD. Os dados são escritos uma vez por hora no cartão SD, e o valores registrados no cartão fazem referência especificamente à hora que foi registrada. Esta task cria um arquivo do formado .xls para cada dia, nomeado como dia001.xls para o dia 1 de operação do datalogger, outro arquivo nomeado como dia002.xls para o dia 2 de operação do datalogger e assim sucessivamente até o dia 999, conforme limitação do relógio implementado na task1. Depois da criação do arquivo dia999.xls, será criado no próximo dia um novo arquivo dia001.xls ao qual irá sobrescrever o arquivo já existente. Os arquivos de registro são criados na raiz do cartão SD conforme a Figura 24. O conteúdo salvo nos arquivos é adicionado a cada hora, e assim como os valores das grandezas monitoradas pela estação, o datalogger também informa, entre os dados, a hora do relógio (vTask1) que foi realizada esta gravação. A figura a seguir mostra um caso de arquivo cujos valores meteorológicos foram gravados, além dos valores da bateria. Para este exemplo, foi utilizado o arquivo dia013.xls, conforme Figura 25 a seguir.

Figura 23 - Arquivos de registro do datalogger



Fonte: Autor, 2019.

Figura 24 - Conteúdo do arquivo de registro do datalogger

	A	B	C	D	E	F	G
	1	2	3	4	5	6	7
1	00	23.7	61.1	0	18.2	NO	12.1
2	01	23.9	58.7	0	19.3	NO	12.1
3	02	25.4	58.4	0	18.1	O	12.1
4	03	25.3	52.4	0	14.5	NO	12.1
5	04	26.1	52.1	0	17.2	O	12.1
6	05	27.0	51.6	0	19.2	NO	12.1
7	06	26.5	52.1	0	10.3	NE	12.1
8	07	25.7	54.8	0	21.5	N	12.0
9	08	23.9	61.1	0	21.7	N	12.1
10	09	22.0	63.2	0	24.1	NE	12.1
11	10	20.3	65.1	0	23.7	NE	12.1
12	11	19.6	66.2	0	21.4	NE	12.2
13	12	18.9	69.6	0	18.3	L	12.2
14	13	18.8	73.2	0	13.0	NE	12.2
15	14	18.8	78.3	0	14.7	N	12.1
16	15	18.7	81.9	0	21.3	NO	12.1
17	16	18.4	83.3	0.2	18.0	O	12.0
18	17	18.2	91.3	0.4	18.4	NO	12.1
19	18	18.9	87.0	0.2	21.5	O	12.1
20	19	19.2	87.1	0	15.2	SO	12.1
21	20	19.8	87.0	0	12.4	O	12.2
22	21	21.1	85.1	0	15.2	SO	12.2
23	22	21.5	76.3	0	19.2	S	12.1
24	23	22.1	71.0	0	20.1	NO	12.1
25							
26							

Fonte: Autor, 2019.

- **vTask8 (Battery Voltage):** Responsável por fazer a verificação da betaria que alimenta o datalogger e os sensores. Esta task verifica a tensão da bateria uma vez por minuto e

atualiza a respectiva variável referente a este valor, assim como aciona o LED BAT de acordo com o valor que foi interpretado.

- **vTask9 (LoRa Sender):** Responsável por empacotar todos os valores interpretados da estação meteorológica e em seguida enviar este pacote por meio de tecnologia LoRa. O formato de pacote adotado para envio é um struct, uma variável especial que contém diversas outras variáveis normalmente de tipos diferentes, embora as variáveis internas do struct foram normalizadas para assumirem uma cadeia de caracteres sob medida. As variáveis internas contidas pela struct são denominados membros da struct. A Figura 26 a seguir ilustra a estrutura do struct adotada para o envio do pacote de dados da estação meteorológica. Esta task além de enviar os pacotes, também é responsável por atualizar os dados do pacote a cada minuto, deste modo, uma vez por minuto os membros internos do struct são atualizados conforme novas alterações realizadas pelas demais tasks. No momento da atualização do pacote, todos os valores interpretados pelas demais tasks são convertidos para outro tipo de dados, uma cadeia de caractere. Ao termino desta atualização, o pacote é enviado repetidamente até o próximo minuto, quando ocorre uma nova atualização.

Figura 25 - Configuração struct adotada para envio dos dados

```
// Struc package
typedef struct __attribute__((__packed__)) {
    char packedHumidity[6];
    char packedTemperature[5];
    char packedTemperatureMax[5];
    char packedTemperatureMin[5];
    char packedRainLastMinute[4];
    char packedRainLastHour[4];
    char packedRainLastDay[4];
    char packedRainNow[5];
    char packedWindSpeed[6];
    char packedWindDirection[9];
    char packedTimeOperation[10];
    char packedBatteryVoltage[5];
    char packedStationId[5];
} PackageLoRa;

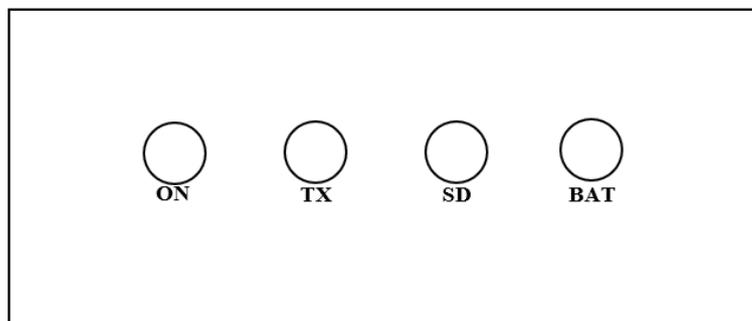
PackageLoRa packedLora;
```

Fonte: Autor, 2019.

O Datalogger possui também uma caixa plástica capaz de envolver todo o circuito eletrônico que foi desenvolvido, e com isso, agrupar à caixa plástica alguns LEDs

responsáveis por indicar o funcionamento do datalogger. O layout dos LEDs foi organizado conforme a figura a baixo.

Figura 26 - Layout dos LEDs do datalogger

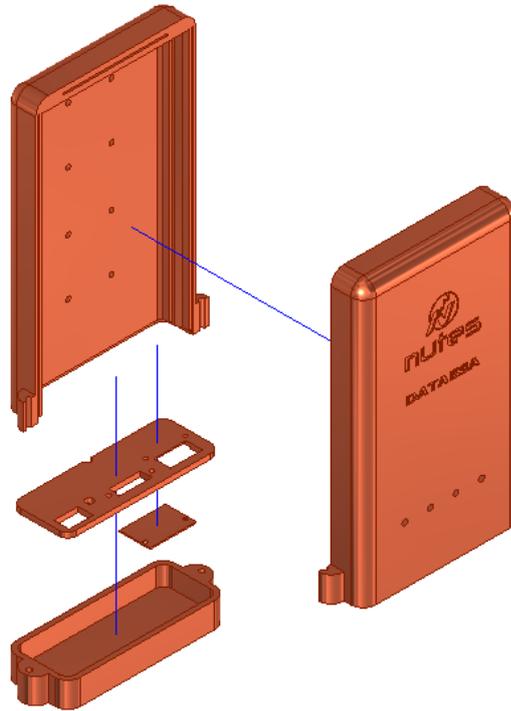


Fonte: Autor, 2019.

O LED *ON* indica uma sinalização de cor verde quando o datalogger for alimentado a uma tensão de 10Vdc à 15Vdc. O LED *TX* também indica uma sinalização de cor verde sempre que os pacotes de dados forem enviados. Quando a transmissão dos pacotes for concluída, o LED *TX* irá se apagar. Em termos práticos, o LED *TX* deverá ficar oscilando entre ligado e desligado de 30 à 50 vezes por minuto, indicando que os pacotes estão sendo enviados de forma repetida de modo a garantir a entrega dos dados coletados. Em seguida tem-se o LED *SD* que indica a gravação dos dados no cartão SD. Este LED pode assumir duas cores distintas de sinalização, sendo elas a cor verde e a cor vermelha, onde é indicado sucesso ou fracasso na gravação dos dados no cartão SD, respectivamente. Caso a gravação seja concluída com êxito, o LED indica um sinal verde e permanece ligado até a próxima gravação. Do contrário, caso a gravação dos dados não seja bem-sucedida, o LED indica um sinal vermelho e este permanece aceso até a próxima tentativa de gravação. Por fim, tem-se o LED *BAT* que indica o status da bateria. Uma das funções do datalogger é verificar a situação de carga da bateria, enviando também anexo ao pacote de dados, a tensão atual da bateria. Esta função visa auxiliar o planejamento de manutenções preventivas e corretivas da estação meteorológica. Caso a tensão da bateria encontre-se igual ou acima de 11Vdc, o LED *BAT* indica um sinal verde. Pelo contrário, caso a tensão da bateria encontre-se abaixo dos 11Vdc, o LED *BAT* indica um sinal vermelho, correspondente à uma baixa suficiência de alimentação do sistema.

A caixa externa responsável por envolver o circuito eletrônico do datalogger foi desenvolvido utilizando uma impressora 3D do modelo MakerBot Replicator+. As figuras a seguir mostram o desenho do projeto de impressão da caixa do datalogger.

Figura 27 - Desenho da caixa do datalogger, visão em perspectiva



Fonte: Autor, 2019.

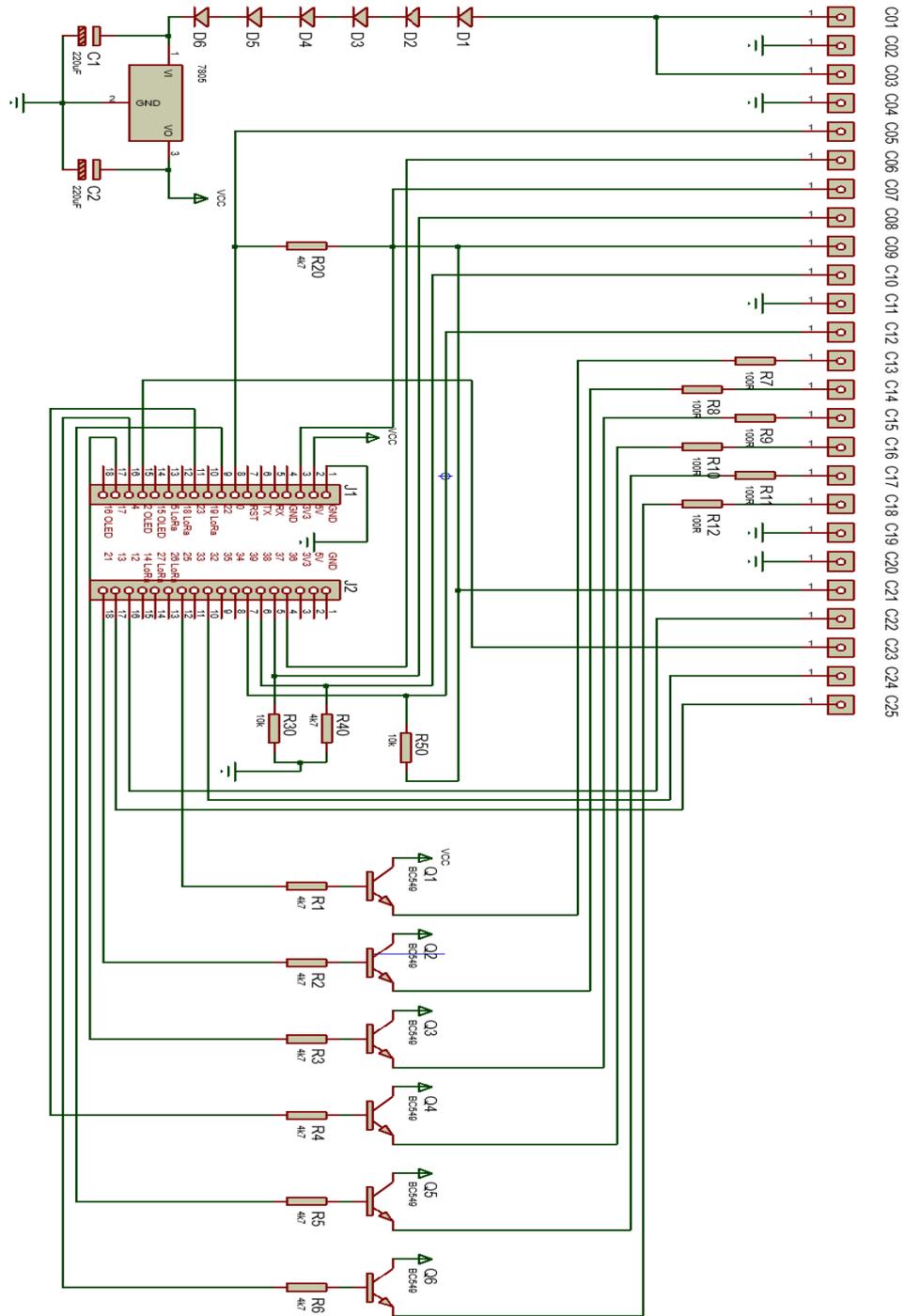
Figura 28 - Desenho da caixa do datalogger, visão frontal



Fonte: Autor, 2019.

É importante observar que dentre as funções básicas do datalogger, inclui-se também, nesta construção, os respectivos circuitos auxiliares definidos nas sessões anteriores de cada sensor. Desse modo, o datalogger abriga, além do circuito próprio pra funcionamento, os circuitos de interface que possibilita o correto funcionamento de todos os sensores do sistema. O diagrama completo do circuito eletrônico do datalogger é definido na figura a seguir. Este remete às conexões do Heltec WiFi Lora 32.

Figura 29 - Circuito eletrônico do datalogger



Fonte: Autor, 2019.

É importante ressaltar que o diagrama eletrônico do datalogger acima define o uso de 25 conectores, estes conectores são utilizados para conectar todos os cabos condutores entre o datalogger e os demais dispositivos, desde terminais de sinais dos sensores, pinos de alimentação, conexões do cartão SD e terminais do layout dos LEDs que foram citados

anteriormente. Cada conector é nomeado em uma sequência de C01 até C25, onde cada um deles está definindo conforme a tabela abaixo:

Tabela 5 - Identificação dos conectores do datalogger

<b>Terminal</b>	<b>Identificação</b>
C01	Alimentação Datalogger, +12Vcc
C02	Alimentação Datalogger, GND
C03	Alimentação Sensor HMP155, +12Vcc, Fio Vermelho.
C04	Alimentação Sensor HMP155, GND, Fio Preto
C05	Sinal Temperatura Sensor HMP155, Fio Amarelo, GPIO_0
C06	Sinal Umidade Sensor HMP155, Fio Azul, GPIO_36
C07	Alimentação Sensor Anemômetro, +3.3Vcc, Fio Vermelho
C08	Sinal Velocidade do Vento Sensor Anemômetro, Fio Preto, GPIO_37
C09	Sinal Direção do Vento Sensor Biruta, Fio Verde, GPIO_38
C10	Alimentação Sensor Biruta, Fio Amarelo, +3.3V, Fio Amarelo
C11	Alimentação Sensor Pluviômetro, GND, Fio Vermelho
C12	Sinal Chuva Sensor Pluviômetro, Fio Branco, GPIO39
C13	Sinal LED ON Verde, Fio Verde, GPIO_25
C14	Sinal LED TX Verde, Fio Verde, GPIO_21
C15	Sinal LED SD Verde, Fio Verde, GPIO_17
C16	Sinal LED SD Vermelho, Fio Vermelho, GPIO_23
C17	Sinal LED BAT Verde, Fio Verde, GPIO_22
C18	Sinal LED BAT Vermelho, Fio Vermelho, GPIO_4
C19	Alimentação LEDs, Fio Preto, GND
C20	Alimentação SD, Fio Preto, GND
C21	Alimentação SD, Fio Vermelho, 3.3Vcc
C22	Sinal SD, MOSI, Fio Azul, GPIO_12
C23	Sinal SD, CS, Fio Verde, GPIO_32
C24	Sinal SD, SCLK, Fio Amarelo, GPIO_2
C25	Sinal SD, MISO, Fio Roxo, GPIO_13

Fonte: Autor, 2019.

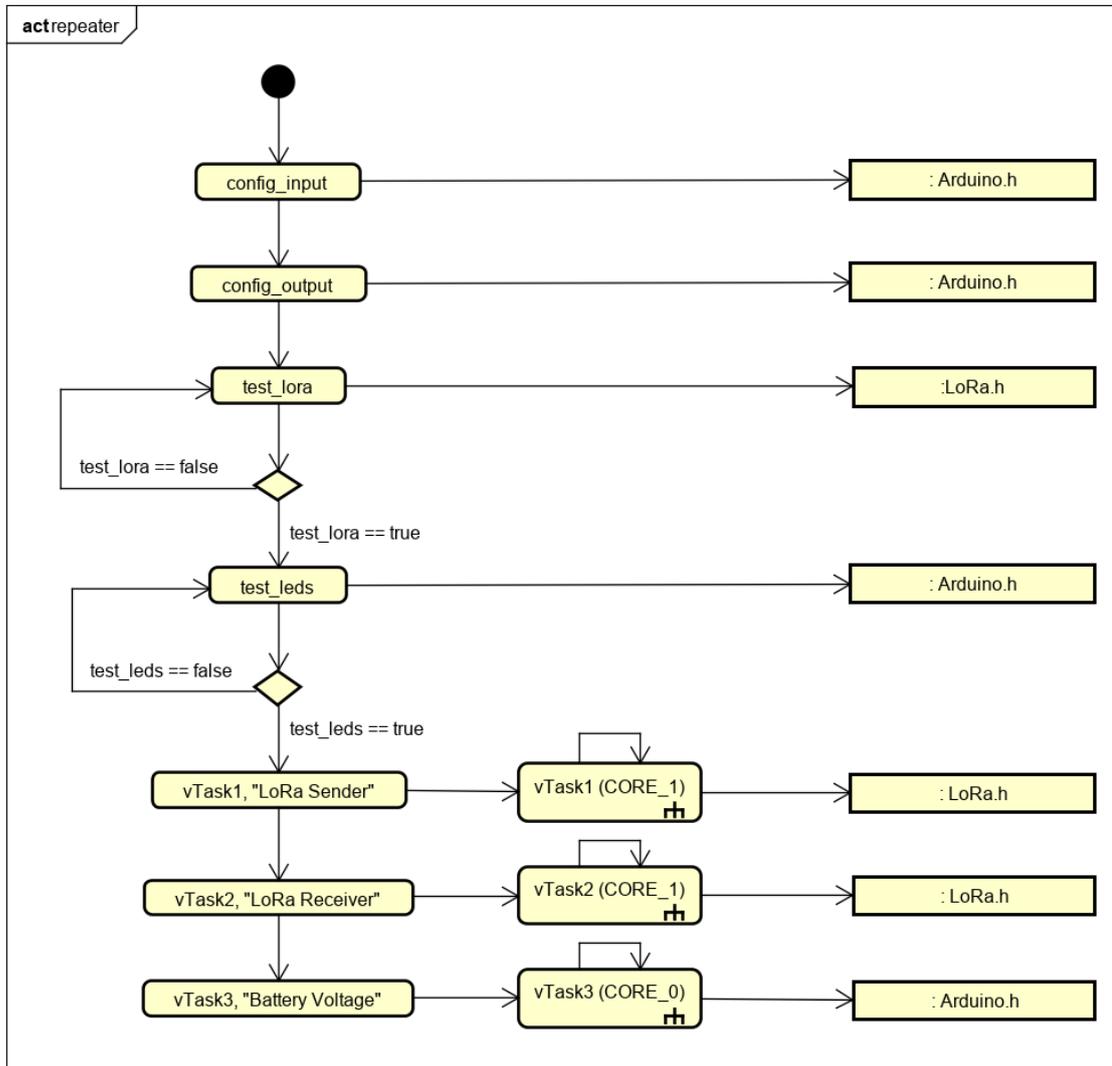
### 3.4 Repetidor

Conforme mencionado na figura 1, Topologia Geral do Projeto, o repetidor tem função de repassar os pacotes inicialmente enviados pelo elemento datalogger. O uso do repetidor em

uma possível instalação deste projeto não é obrigatório e este equipamento é transparente na visão da rede. A principal função do repetidor é receber os pacotes com as informações da estação, provenientes do datalogger, e repassar este mesmo pacote adiante, sem alteração dos dados, de forma omnidirecional, de modo a atingir um alcance superior referente ao envio inicial do datalogger. O uso do repetidor possibilita que os pacotes possam chegar a distâncias superiores, haja vista que a conexão ponta-à-ponta, apenas entre o datalogger e o gateway sofre limitações referentes à distância de envio/recepção dos pacotes. Com o uso do repetidor, os dados podem alcançar distâncias superiores e a quantidade de elementos repetidores utilizados na instalação é ilimitada, ou seja, podendo ser utilizado dois, três ou até mais repetidores, a depender da distância entre o datalogger e o gateway.

A implementação do repetidor foi realizada tomando como base a modelagem do firmware, deste modo, foi desenvolvido um diagrama de atividades que reflete o funcionamento e as operações do repetidor. Assim como o datalogger, o repetidor também foi modelado por meio de tasks com base no FreeRTOS e o sistema desse elemento foi construído tomando como base o diagrama de atividade, conforme a figura 30 a seguir.

Figura 30 - Diagrama de Atividade do repetidor



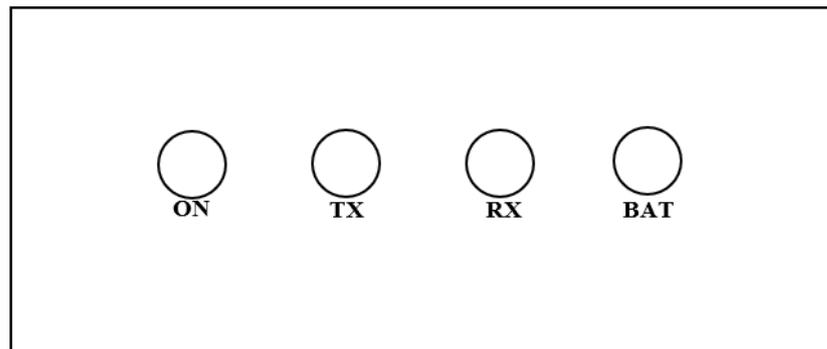
Fonte: Autor, 2019.

Conforme indicado no diagrama de atividade, o repetidor funciona com base em três tasks. Estas tasks assumem operações constantes e todas elas operam em loops infinitos. A função de cada task está definida a seguir, bem como suas particularidades.

- **vTask1 “LoRa Sender”**: Responsável por enviar adiante os pacotes de dados que foi recebido.
- **vTask2 “LoRa Receiver”**: Responsável por receber os pacotes de dados do datalogger.
- **vTask3 “Battery Voltage”**: Responsável por realizar a verificação da bateria que alimenta o repetidor. Esta task verifica a tensão da bateria uma vez por minuto e informa por meio do LED BAT o status da bateria para que algum agente possa tomar conhecimento do status da bateria.

Assim como o datalogger, o repetidor possui também uma caixa plástica que envolve todo o circuito eletrônico, tornando o conjunto de componentes eletrônicos seguro e íntegro dentro do invólucro, e com isso foi também agrupado à caixa plástica alguns LEDs responsáveis por indicar o funcionamento do repetidor. O layout dos LEDs foi organizado conforme a figura 31 abaixo.

Figura 31 - Layout dos LEDs do Repetidor



Fonte: Autor, 2019.

Dentre os LEDs presentes no repetidor, o LED *ON* é acionado permanentemente de cor verde quando o equipamento está em operação. O LED *TX* é acionado também em cor verde quando o equipamento transmite os dados que foram recebidos do datalogger ou de outro repetidor. O LED *RX* representa a recepção dos dados recebidos e este é acionado também na cor verde quando ocorre este evento. Já o LED *BAT*, pode assumir duas cores distintas, sendo elas de cor verde que representa a bateria em status aceitável, ou vermelho que representa a bateria com status crítico. Caso a tensão da bateria encontre-se acima de 11Vdc, o LED *BAT* indica um sinal verde. Pelo contrário, caso a tensão da bateria encontre-se abaixo dos 11Vdc, o LED *BAT* indica um sinal vermelho, correspondente à uma baixa suficiência de alimentação do sistema.

O repetidor, assim como os demais dispositivos eletrônicos desenvolvidos neste trabalho, possui um importante conjunto de componentes eletrônicos que possibilitem o correto funcionamento deste módulo. A figura a seguir representa o diagrama eletrônico do projeto do repetidor.

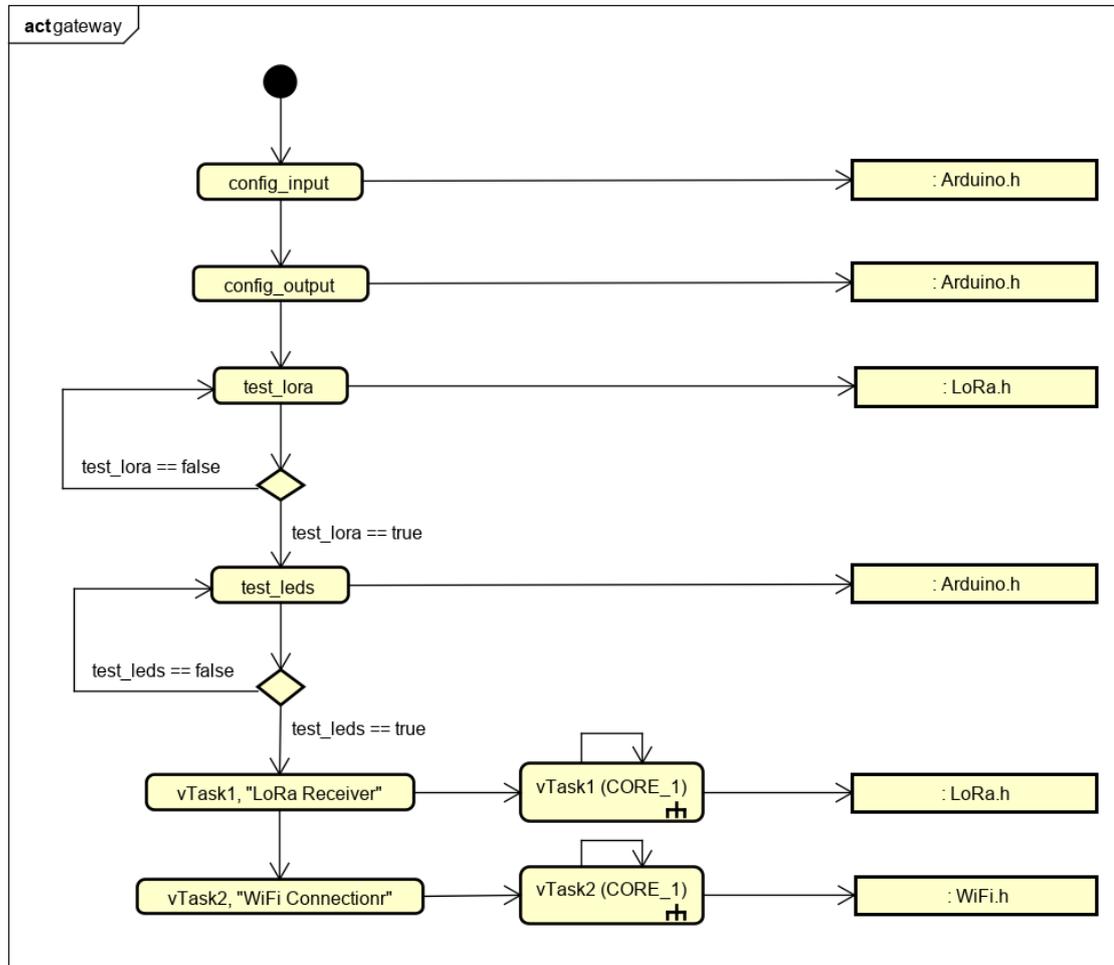


### 3.5 Gateway

O gateway é o terceiro e último elemento presente na topologia do projeto, conforme a figura 1, tendo como função a recepção dos pacotes de dados provenientes do datalogger/repetidor. O gateway é considerado um dispositivo da rede, equipado para interfacear com outra rede que usa protocolos diferentes, sendo estas redes a rede LoRa e a rede mundial de computadores (a internet). Uma vez sob posse dos dados transmitidos pelas etapas anteriores, ele assume a função de submeter esses dados para servidores Blynk (local na internet responsável por armazenar os dados coletados de forma segura e íntegra) através de conexão com a internet. É realizada autenticação na rede WiFi adotada, e com isso é submetido ao servidor Blynk os dados do pacote em questão. Uma vez concluído esta etapa de transferência dos dados por meio da internet, é possível visualizar as informações por meio do aplicativo de celular.

A implementação do gateway foi realizada tomando como base a modelagem do firmware, deste modo, foi desenvolvido um diagrama de atividades que reflete o funcionamento e as operações do gateway. Assim como o datalogger e o repetidor, o gateway também foi modelado por meio de tasks com base no FreeRTOS e o sistema desse elemento foi construído tomando como base o diagrama de atividade, conforme a figura 33 a seguir.

Figura 33 - Diagrama eletrônico do gateway



Fonte: Autor, 2019.

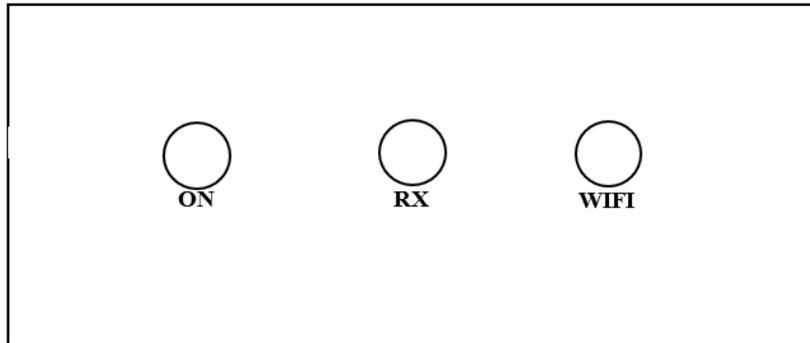
Conforme indicado no diagrama de atividade acima, o gateway funciona com base em duas tasks. Estas tasks assumem operações constantes e todas elas operam em loops infinitos. A função de cada task está definida a seguir, bem como suas particularidades.

- **vTask1 “LoRa Receiver”**: Responsável por receber os pacotes de dados do datalogger/repetidor.
- **vTask2 “WiFi Connection”**: Responsável por conectar o módulo à uma rede WiFi mais próxima com internet, autenticando o acesso da rede e, com o sucesso, submeter os dados recebidos ao servidor Blynk. Uma vez feito estes dois procedimentos, os dados podem ser considerados acessíveis pelo aplicativo de celular.

Assim como o datalogger e o repetidor, o gateway possui também uma caixa plástica que envolve todo o circuito eletrônico, tornando o conjunto de componentes eletrônicos seguro e íntegro dentro do invólucro, e com isso foi também agrupado à caixa plástica alguns

LEDs responsáveis por indicar o funcionamento do gateway. O layout dos LEDs foi organizado conforme a figura a baixo.

Figura 34 - Layout dos LEDs do gateway



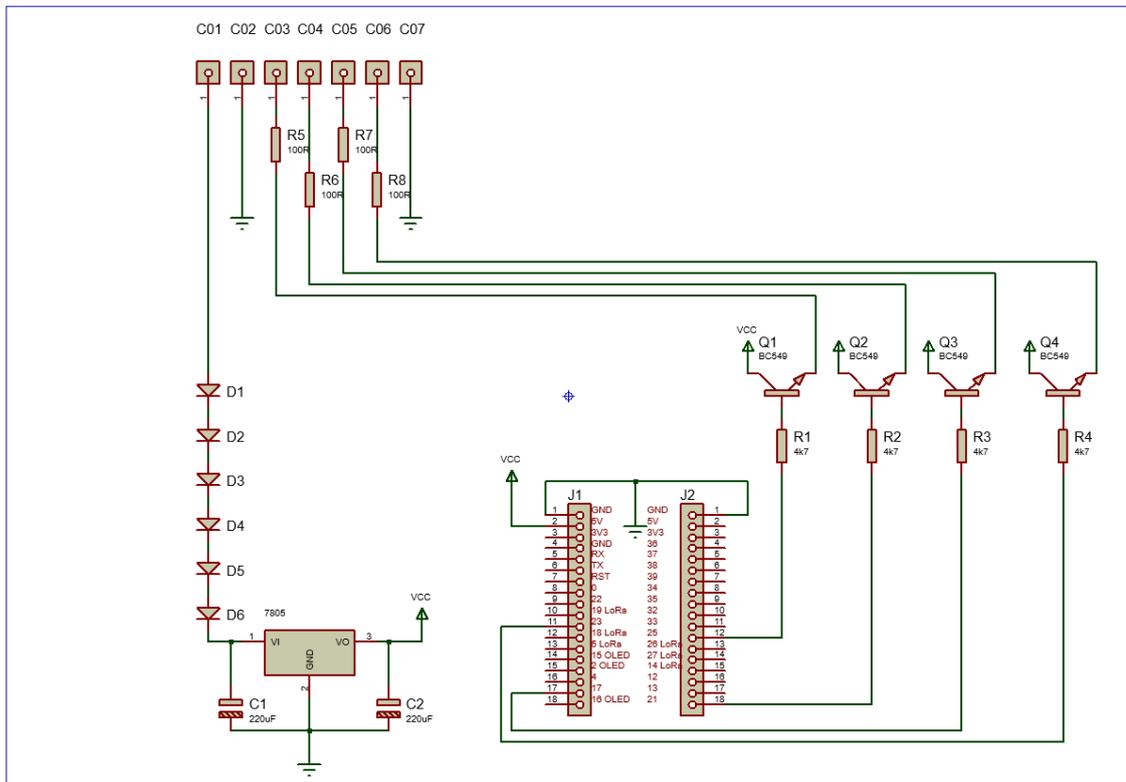
Fonte: Autor, 2019.

Dentre os LEDs presentes no gateway, o LED *ON* é acionado permanentemente de cor verde quando o equipamento está em operação. O LED *RX* é acionado também em cor verde quando o equipamento recebe os dados que foram enviados do datalogger/repetidor. O LED *WIFI*, pode assumir a cor verde ou vermelha, sendo a sinalização verde quando a submissão dos dados ocorrer de forma satisfatória no servidor Blynk e a cor vermelha quando a conexão WiFi for perdida, mal sucedida ou quando a submissão dos dados não for concluída com êxito. Esta sinalização será útil para inspeções dos agentes de meteorologia.

Assim como os demais módulo eletrônicos desenvolvidos neste trabalho, o elemento gateway também possui um circuito eletrônico que possibilita o correto funcionamento do dispositivo.

A figura 35 mostra o circuito eletrônico do gateway.

Figura 35 - Circuito eletrônico do Gateway



Fotne: Autor, 2019.

O diagrama eletrônico do gateway, conforme a figura 34 acima, define o uso de 7 conectores, estes conectores são utilizados para conectar todos os terminais condutores entre o módulo gateway e os LEDs presentes na caixa externa. É válido lembrar que este módulo não possui bateria para alimentação, haja vista que o gateway deve ser posicionado em algum ambiente protegido ao qual existe acesso à internet por meio de WiFi, além da necessidade de uso de uma fonte de alimentação que pode ser conectado à tomada. Cada conector é nomeado em uma sequência de C01 até C07, onde cada um deles está definindo conforme a tabela abaixo:

Tabela 7 - Identificação dos conectores do gateway

<b>Terminal</b>	<b>Identificação</b>
C01	Alimentação Gateway, +12Vcc
C02	Alimentação Gateway, GND
C03	Sinal LED ON Verde, Fio Verde, GPIO_25
C04	Sinal LED RX Verde, Fio Verde, GPIO_21
C05	Sinal LED WiFi Verde, Fio Verde, GPIO_17
C06	Sinal LED WiFi Vermelho, Fio Vermelho, GPIO_23
C07	Alimentação LEDs, Fio Preto, GND

Fonte: Autor, 2019.

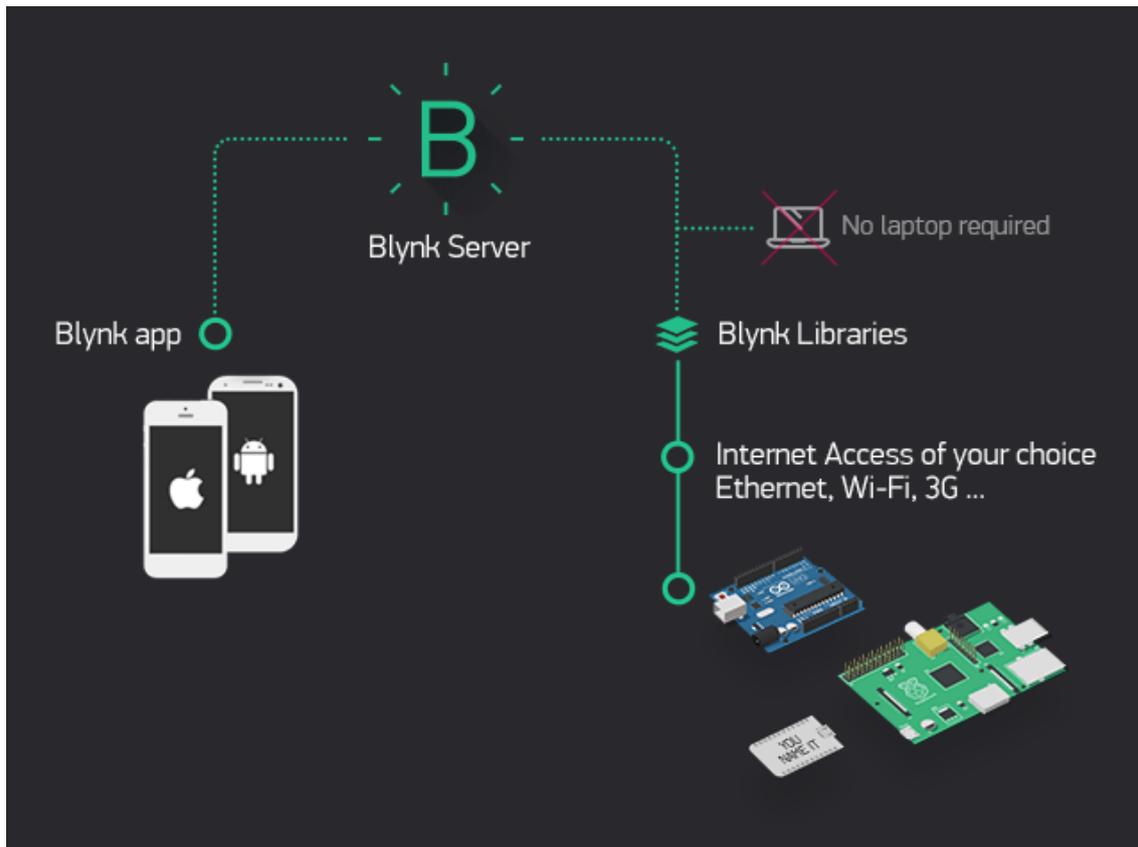
### 3.6 Aplicativo de Celular

O aplicativo de celular desenvolvido neste trabalho, tem finalidade de informar ao usuário final todas as variáveis coletadas pela estação meteorológica. Utilizou-se ferramentas específicas do Blynk para desenhar todo o aplicativo. O mesmo possui internamente a função de coletar as informações registradas no servidor e atualizar no dispositivo instalado os dados em tempo real.

A estrutura do aplicativo é composta por abas e telas diferentes, que foram separadas de acordo com a variável meteorológica em questão, ou seja, foi utilizado uma tela para: temperatura, umidade, direção do vento, velocidade do vento e chuva. Além disso, o aplicativo também oferece uma tela específica para mostrar a localização da estação meteorológica, e por fim, uma última tela que revela os valores específicos do sistema da estação meteorológica, como o tempo de operação e a tensão na bateria.

A figura 34 oferece estrutura do sistema do blynk, deixando evidente como os dados são coletados, transmitidos e exibidos a partir da primeira etapa do processo até a última, que é a exibição dos valores coletados para o usuário final por meio do aplicativo mobile, sendo este compatível com o sistema operacional Android ou iOS.

Figura 36 - Estrutura do Blynk



Fonte: Blynk.cc, 2019.

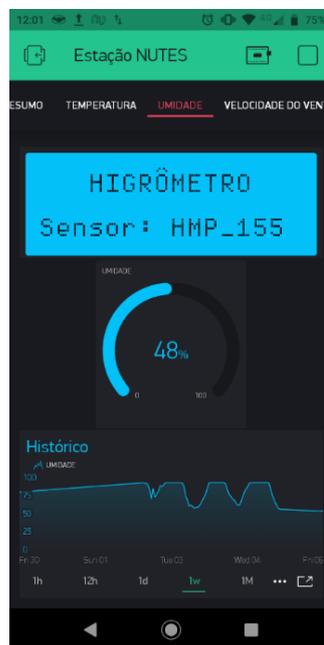
Conforme descrito acima, o aplicativo do usuário é uma aplicação mobile simples que em por finalidade informar ao usuário todas as informações coletadas por meio da estação meteorológica. O usuário pode acessar em tempo real todas as variáveis meteorológicas monitoradas pela estação, além de outros dados como o nome da estação, localização, tempo de operação entre outros parâmetros. As figuras a seguir faz uma breve apresentação das telas do aplicativo de celular que foi desenvolvido.

Figura 37 - Aplicativo do usuário, tela de resumo



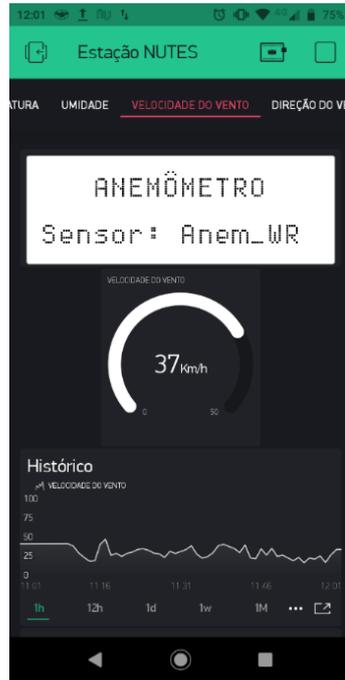
Fonte: Autor, 2019.

Figura 38 - Aplicativo do usuário, tela de higrômetro



Fonte: Autor, 2019.

Figura 39 - Aplicativo do usuário, tela do anemômetro



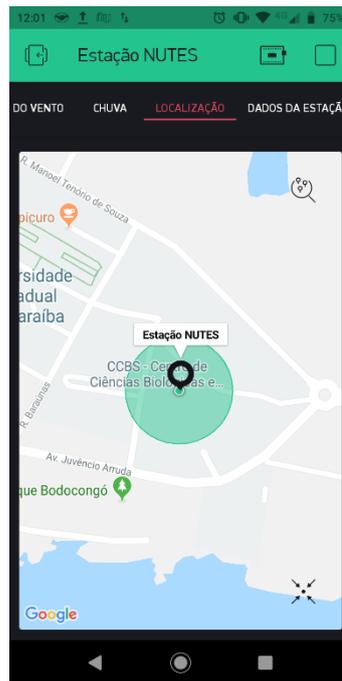
Fonte: Autor, 2019.

Figura 40 - Aplicativo do usuário, tela de direção do vento



Fonte: Autor, 2019

Figura 41 - Aplicativo do usuário, tela de localização da estação



Fonte: Autor, 2019.

Figura 42 - Aplicativo do usuário, tela dos dados da estação

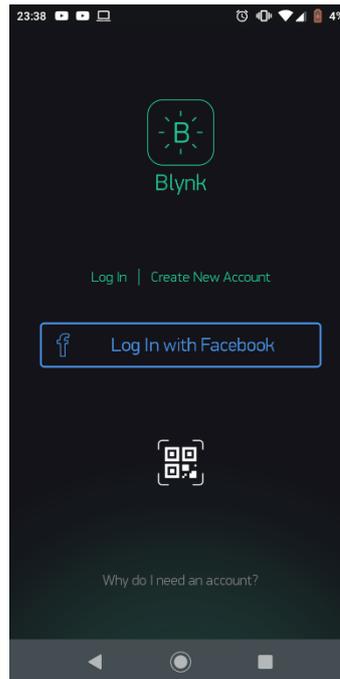


Fonte: Autor, 2019.

O aplicativo do usuário funciona com base nos serviços do Blynk. Para que seja possível a utilização do aplicativo da estação meteorológica, é necessário que o usuário instale em seu dispositivo móvel um aplicativo chamado de Blynk, que pode ser baixado através da

PlayStore (para android) ou da AppleStore (para iOS). Em seguida, na primeira tela e utilização, é solicitado os dados de acesso para alguma aplicação (login e senha) ou a leitura de um QR Code para possibilitar a abertura de alguma aplicação já desenvolvida (este é o caso da aplicação da estação meteorológica). A figura a seguir apresenta a primeira tela da aplicação.

Figura 43 - Aplicativo do usuário, tela de login



Fonte: Autor, 2019.

O usuário deve clicar no ícone do QR code marcado de cor branca (abaixo da opção “*Log In with Facebook*”), em seguida o aplicativo irá abrir a câmera do dispositivo para realizar a leitura de um QR code. O QR code da estação meteorológica pode ser lido por meio da figura a seguir.

Figura 44 - QR Code para utilização do aplicativo da estação meteorológica



Fonte: Autor, 2019.

Após este procedimento, o usuário terá acesso imediato ao aplicativo da estação meteorológica.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento deste trabalho envolveu a construção de toda uma estrutura física capaz de englobar os sensores utilizados, bem como o datalogger, repetidor, gateway e a construção de um aplicativo mobile. Deste modo, todo o conjunto de elementos do projeto caracteriza uma estação meteorológica automática com tecnologia LoRa. Esta estação meteorológica, utiliza tecnologia LoRa para a transmissão de dados, que dispensa o uso de outros meios de comunicação anexo necessariamente no local em que a estação meteorológica se encontra instalada.

Todo o projeto foi modelado utilizando métodos e normas presentes na UML 2.0, por meio de uma aplicação denominada de Astah UML. Com base nisso, o projeto foi implementado utilizando a linguagem C++ orientada ao uso do WiFi LoRa 32, um hardware de desenvolvimento da Heltec Automation, juntamente com o ESP32, um hardware de desenvolvimento da Espressif Systems.

O datalogger desenvolvido é capaz de monitorar todas as variáveis meteorológicas previstas na estação (temperatura, umidade, chuva, direção e velocidade do vento), armazená-las em uma mídia segura (cartão SD) os dados coletados, além de informar por meio de LEDs as operações realizadas.

Um problema enfrentado no desenvolvimento do datalogger, foi a necessidade de evitar o superaquecimento do módulo eletrônico. Este aquecimento excessivo inicialmente era ocasionado pelo regulador de tensão, devido à uma alta tensão nos terminais de entrada. Para evitar o aquecimento desnecessário, foram utilizados diodos semicondutores em série, de modo que a tensão de entrada do regulador fosse inferior à utilizada anteriormente.

Outro problema encontrado no desenvolvimento do datalogger, foram os erros de conversão de sinais analógicos para digital, erros na medida do volume de chuva, erros na geração de gráficos, entre outros problemas, mas todos corrigidos até a conclusão do projeto. A maior dificuldade encontrada no desenvolvimento do hardware foi a garantia de que o dispositivo não reiniciasse acidentalmente, pois se faz necessário a continuidade do funcionamento do sistema de forma ininterrupta, de modo a assegurar dados coletados de chuva e temperatura máxima e mínima. Com a possibilidade do datalogger reiniciar acidentalmente e da comprovação da origem do problema, adotou-se a estratégia de utilizar o canal SPI (utilizado pelo LoRa e também pelos métodos que atuam na operação do cartão SD) apenas uma vez por dispositivo de forma exclusiva ou seja, no momento em que a interface LoRa faz uso do canal SPI, a interface do SD permanece desabilitada até que este recurso se

encontre à disposição. Com isso, os problemas foram solucionados, possibilitando a realização dos testes seguintes.

O próximo teste diz respeito à verificação da distância máxima oferecido pelo hardware que compõe os chips LoRa. O teste de distância que foi realizado com o chip LoRa, ocorreu de modo a utilizar dois módulos WiFi LoRa 32, sendo eles configurados como um transmissor e outro receptor. O transmissor foi posicionado em um laboratório do NUTES de modo a enviar pacotes com tamanhos fixos de 5 Bytes, já o receptor foi posicionado em diversos lugares distintos, com distâncias diferentes do transmissor. Observou-se que a depender das distâncias entre os módulos, os pacotes enviados não eram recebidos integralmente pelo receptor, o que comprovou a limitação da distância nesta aplicação. Além disso, percebeu-se que o indicador de intensidade do sinal recebido (RSSI) foi reduzindo conforme a distância entre os módulos era aumentada. A faixa de sensibilidade do módulo WiFi LoRa 32 é de -1 dbm até -139 dbm, onde o valor -1 assume uma qualidade de sinal excelente, enquanto que o valor -139 assume uma qualidade de sinal péssima. Ao término de vários testes, obtivemos os seguintes resultados conforme a tabela a seguir. O hardware utilizado não sofreu nenhuma alteração de fábrica.

Tabela 8 -Teste de distância utilizando o WiFi LoRa 32

<b>Distância</b>	<b>Potência do Sinal</b>
10 metros	-27 dbm
20 metros	-31 dbm
30 metros	-37 dbm
40 metros	-45 dbm
50 metros	-52 dbm
100 metros	-87 dbm
200 metros	-98 dbm
300 metros	-107 dbm
400 metros	-119 dbm
500 metros	-129 dbm
600 metros	-137 dbm

Fonte: Autor, 2019.

Foi realizado também um teste de tamanho dos pacotes enviados. Para tal, foi utilizado pacotes de tamanhos diferentes para verificar a integridade do mesmo na recepção. Ao concluir os testes, verificou-se que, quando o módulo transmite um pacote cujo tamanho é

maior que 90 Bytes, e a frequência de envio era em torno de 1s, os dados em questão sofriam perdas. Todos os envios foram realizados em um intervalo de 1 segundo. Este teste foi realizado com 20 tentativas de envio para cada tamanho de pacote e a distância entre os módulos foi de 100 metros para todos os casos. Os dados da tabela a seguir informa os resultados obtidos deste teste.

Tabela 9 - Teste de tamanho dos pacotes utilizados na transmissão

<b>Tamanho do Pacote</b>	<b>Recepção do Pacote</b>	<b>Taxa de entrega</b>
50 Bytes	Sim	95%
60 Bytes	Sim	95%
70 Bytes	Sim	90%
80 Bytes	Sim	90%
90 Bytes	Sim	85%
100 Bytes	Sim	5%
110 Bytes	Sim	5%
120 Bytes	Não	0%

Fonte: Autor, 2019.

Deste modo, foi necessário limitar o tamanho do pacote enviado que contém os dados da estação, para que este assumisse um tamanho coerente aos valores aceitáveis de acordo com os dados da tabela 9. Com isso, o tamanho dos dados deste trabalho assume tamanho fixo de 73 Bytes, com taxa de transferência de 664bps. Deste modo, todos os testes relacionados ao datalogger foram concluídos.

A implementação do repetidor neste projeto melhorou a taxa de entrega dos pacotes e tornou possível a ampliação da distância entre os módulos de forma considerável. Foi realizado um teste de recepção dos pacotes com e sem um repetidor LoRa com distâncias variadas entre o datalogger e o gateway. O repetidor foi posicionado exatamente na metade da distância à qual o datalogger e o gateway se encontraram e o tamanho dos pacotes que foi utilizado para o teste foi de 73 Bytes. A tabela a seguir apresenta os resultados dos testes com o repetidor.

Tabela 10 - Teste da taxa de entrega com e sem repetidor Lora

<b>Distância entre o datalogger e gateway</b>	<b>Taxa de Entrega sem repetidor</b>	<b>Taxa de entrega com Repetidor</b>
500 metros	85%	100%
600 metros	80%	100%
700 metros	65%	100%
800 metros	60%	100%
1000 metros	10%	85%
1200 metros	5%	80%

Fonte: Autor, 2019.

Portando, o uso do repetidor em um projeto deste porte, amplia consideravelmente o alcance e a taxa de entrega dos pacotes.

Foi construído um terceiro módulo, caracterizado como gateway, para enviar as informações coletadas para servidores na internet. O gateway mostrou-se eficiente em relação às entregas dos dados aos servidores na internet. Os testes de eficiência do gateway foram realizados de modo que, no momento em que os dados são recebidos pelo gateway por tecnologia LoRa, estes dados contidos no pacote foram impressos no display OLED do gateway e com isso é válido afirmar que o gateway recebeu os dados da etapa anterior (via tecnologia LoRa). Após essa interpretação, foi verificado se os mesmos dados presentes no OLED do gateway encontravam-se no aplicativo do celular, deste modo é válida a confirmação da submissão dos dados aos servidores, haja vista que o aplicativo atualizou os mesmos dados no celular. Todos os testes foram realizados à uma distância fixa de 100 metros entre datalogger e repetidor e de 100 metros entre repetidor e gateway, de modo que apenas a eficiência do gateway fosse analisada. O tamanho do pacote utilizado nestes testes, foi de 73 Bytes. A tabela a seguir informa os resultados do teste de funcionalidade do gateway.

Tabela 11 - Teste de eficiência do gateway

<b>Envios do datalogger</b>	<b>Pacotes repetidos</b>	<b>Recepção do gateway</b>	<b>Dados atualizados no aplicativo mobile</b>
5	4	4	4
10	8	8	8
15	14	14	14
20	19	19	19
25	24	24	23

Fonte: Autor, 2019.

Ocorreram erros na sincronia dos dados com o servidor Blynk, por meio do elemento gateway. Foram registrados eventos em que o gateway, por falta de conexão ou rejeição do roteador local, não concluía a tarefa de enviar os dados recebidos para o servidor Blynk. Para corrigir o problema de desconexão, foi desenvolvido um método específico para verificar o status da conexão WiFi, e a depender, é realizada novamente uma tentativa de conexão antes de realizar a submissão dos dados ao servidor Blynk.

Com isso, o gateway mostrou-se com excelente eficiência, pois o mesmo registrou no servidor quase todos os dados que chegaram até ele, falhando apenas em um caso de perda de conexão, conforme mencionado na tabela 11.

Por fim, foi construído um aplicativo mobile compatível com o sistema operacional Android e também iOS. O aplicativo exibe todas as informações da estação meteorológica, inclusive dados da própria estação, como localização, tensão da bateria e tempo de operação do datalogger. O aplicativo tem finalidade de atender à comunidade e também ao meio científico para que estes tomem conhecimento das variáveis em questão.

Tratando do processo de desenvolvimento da aplicação mobile, houve interesse de dividir as informações de cada sensor, pois dessa forma, o usuário se concentra na leitura apenas de uma grandeza. Do contrário, o usuário pode acessar todas as grandezas simultaneamente, fazendo uso da primeira tela. Em cada tela da aplicação, foram inseridos o tipo e o modelo do sensor a ser visualizado, na parte inferior da tela foi inserido os valores matemáticos obtidos, bem como os respectivo históricos das grandezas.

Portanto, todas as tarefas submetidas conforme definido na sessão dos objetivos, foram contempladas ao término deste projeto.

## 6 CONCLUSÃO

De acordo com as necessidades de ampliação tecnológica no campo da meteorologia, baixo privilégio climático na região semiárida brasileira, urgência de acompanhamento dos recursos meteorológicos pelas agências gestoras e do alto valor agregado à aquisição de estações meteorológicas automáticas, encontrou-se a possibilidade de realizar este trabalho tomando como base os objetivos propostos. Com isso, este trabalho foi concluído dentro do prazo estabelecido e todos os problemas encontrados, foram solucionados.

O projeto encontra-se implementado e dentro do esperado pelo corpo técnico do Núcleo de Tecnologias Estratégicas em Saúde (NUTES) e é atualmente utilizado como membro do portfólio de projetos construídos ao longo de vários anos de atuação do núcleo. As tecnologias utilizadas para realizar este trabalho assumem espaço de grande aceitação na área de engenharia e possuem tecnologia de ponta do ponto de vista inovador. Os módulos eletrônicos, a linguagem de programação, plugins utilizados para implementação dos códigos e a modelagem dos componentes de firmware foram desenvolvidos considerando métodos eficientes e aceitáveis no mercado global.

Como sugestões de aprimoramento deste trabalho, engloba-se a ampliação do gerenciamento de banco de dados, de modo a possibilitar a disponibilidade dos dados monitorados por meio de uma plataforma WEB, muito embora os objetivos definidos tenham sido alcançados com sucesso. A utilização de uma estrutura WEB para exibição das variáveis em questão, são necessárias para tornar o projeto da Estação Meteorológica Automática com Tecnologia LoRa mais maduro e robusto. A proteção e integridade dos dados também é algo a ser atendido com mais rigor em ampliações futuras, pois neste trabalho não foi utilizado protocolos com finalidade de manter a segurança dos dados.

Apesar desta abordagem não ser contemplada no escopo deste trabalho, vale ressaltar a importância do desenvolvimento de projetos deste porte, assumindo um baixíssimo custo de implementação, mantendo a alta confiabilidade e operacionalização dos serviços oferecidos, proporcionando grandes possibilidades de utilização desta tecnologia no mercado nacional, haja vista a existência da necessidade de implantação.

## REFERÊNCIAS

- ADITYAWARMAN, Yudi; MATONDANG, Josef. Development of Micro Weather Station Based on Long Range Radio Using Automatic Packet Reporting System Protocol. In: **2018 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)**. IEEE, 2018. p. 221-224.
- ALMEIDA, Hermes Alves. **Climatologia Aplicada à Geografia**. Campina Grande: Editora da Universidade Estadual da Paraíba, 2016. p. 331.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- BERTONELI, Pedro. **Projetos com ESP32 e LoRa**. 1. ed. São Paulo: Instituto NCB, 2019.
- BLYNK. Disponível em <<https://blynk.io/>>. Acesso em: 3 de Out. 2019.
- BRAGA, A. S.; BRAGA, S. M.; FERNANDES, C. V. S. Estações meteorológicas automáticas: relato de uma experiência com sensores independentes em bacia experimental. **XIX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos**, p. 1-16, 2011.
- CAVALCANTI, Emmanuel Alisson Bezerra et al. **Informações meteorológicas da região de Rio Largo-AL**, ano 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 2000. p. 1209-1216.
- CAMPBELL. **Automatic Weather Stations (AWS) and Meteorologic Instruments**. Disponível em: <<https://www.campbellsci.com.br/aws-meteorology>>. Acesso em: 1 de Set. 2019.
- CRUZ, Franklin Nelson. **Ciências da natureza e realidade: interdisciplinar**/ Franklin Nelson, Gilvan Luiz Borba, Luiz Roberto Diz de Abreu. – Natal, RN: EDUFRN Editora da UFRN, 2005. 348 p. ISBN 85-7273-285-3.
- COSTA, Mauricio Dalla. **Central meteorológica microcontrolada de baixo custo**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- DIAS, ANDERSON A. C.; ANDRADE-NETO, A. V.; MILITÃO, M. S. R. A. **Atmosfera Terrestre: Composição e Estrutura**. Caderno de Física da UEFS 01-02; p.21-40, 2007.

ELIAS, Alexandre Artimos et al. ArdWeather: Uma estação meteorológica baseada no Arduino e em Web Services RESTful. In: **Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress**. 2014. p. 44-48.

ESPRESSIF. Disponível em: <<https://www.espressif.com/>>. Acesso em: 20 de Maio de 2019.

FRANÇA, José A. **Termopares: Um Tutorial**. Campina Grande, Agosto de 1997.

HELTEC AUTOMATION. Disponível em: <<https://heltec.org/>>. Acesso em: 17 de Ago. de 2019.

IBRAHIM, Dogan. IBRAHIM, Ehmet. **The Official ESP32 Book**. 1. ed. London: Elektor International Media B.V., 2017.

INMET. Tempo. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=tempo>>. Acesso em: 16 de Nov. de 2019.

INMET. Estação meteorológica de observação de superfície automática. 2015.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2012. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 25 de Set. de 2019.

KANDA, Kazuya et al. Field monitoring system using Agri-Server. In: **SICE Annual Conference 2011**. IEEE, 2011. p. 2069-2072.

KURNIAWAN, Agus. *Building Wireless Sensor Networks with ESP32 LoRa*. 1.ed. PE Press. January, 2019.

LAMBERTS, Roberto. Combined thermal acceptability and air movement assessments in a hot humid climate. **Building and Environment**, v. 46, n. 2, p. 379-385, 2011.

LOPEZ, Jess Christopher B.; VILLARUZ, Harreez M. Low-cost weather monitoring system with online logging and data visualization. In: **2015 International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM)**. IEEE, 2015. p. 1-6.

MILANESI, Marcos Alexandre; ALVES, Rogério Rozolen; GALVANI, Emerson.

**Comparativo entre instrumentos pluviométricos experimentais e automáticos.** *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, 2017, 1: 2251-2261.

MOURA, Renner Martins de et al. **Estação Meteorológica de Baixo Custo: Uma contribuição para o monitoramento meteorológico das cidades.** 2018.

MOZETO, Antônio A. Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças. **Cadernos temáticos de química nova na escola**, v. 13, p. 41-49, 2001.

MUTERSPAW, Kristin et al. Multidisciplinary research and education with open tools: Metagenomic analysis of 16S rRNA using Arduino, Android, Mothur and XSEDE. In: **Proceedings of the 2015 XSEDE Conference: Scientific Advancements Enabled by Enhanced Cyberinfrastructure.** ACM, 2015. p. 22.

NETO, Eurípedes Lopes *et al.* **Estação meteorológica wifi de baixo custo baseado em thingspeak.** 2018. 6 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnólogo de Automação Industrial, Instituto Federal de Sergipe - Ifs, Lagarto, 2018.

OLIVEIRA, Leandro Dias. A geopolítica do desenvolvimento sustentável: reflexões sobre o encontro entre economia e ecologia. **Carta Internacional**, v. 7, n. 1, p. 118-139, 2012.

SANTOS, Diego; BALBINO, Amanda. **Estação meteorológica: como funciona e sua importância na agricultura.** Disponível em: <  
<https://agrosmart.com.br/blog/irrigacao/estacao-meteorologica-funciona-importanciaagricultura/>>. Acesso em: 15 de Nov. de 2019.

SEIÇA, Álvaro. **Transdução: Processos de Transferência na Literatura e Arte.** 2011. 95f. Dissertação (Mestrado em Criações Literárias Contemporâneas). Universidade de Évora. Évora 2011.

SHINGUE, Carlos. **Eletrônica Instrumentação.** Disponível em: <[http://www.demar.eel.usp.br/eletronica/aulas/Sensores\\_de\\_temperatura.pdf](http://www.demar.eel.usp.br/eletronica/aulas/Sensores_de_temperatura.pdf)> Acesso em 15 de Nov. de 2019.

SILVA, Angelo Cesar Mendes et al. Estação Meteorológica Automática de Baixo Custo-Low Cost Automatic Meteorological Station. **Multiverso: Revista Eletrônica do Campus Juiz de Fora-IF Sudeste MG**, v. 1, n. 1, p. 46-56, 2016.

SEMTECH. Disponível em: <<https://www.semtech.com/lora>>. Acesso em: 7 de Mai. De 2019.

SILVA, M. A. V. **Meteorologia e climatologia**. Recife: INMET, 2005.

VAISALA. **Observações para um mundo melhor**. Disponível em: <<https://www.vaisala.com/pt>>. Acesso em: 23 de Jul. de 2019.

VIANELLO, R. L. Meteorologia básica e aplicações. ed. **Viçosa, UFV, Imp. Univ., 449p**, 1991

VIANELLO, Rubens Leite. **A Estação Meteorológica e seu Observador**: Uma parceria secular de bons serviços prestados à humanidade. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2011.

WRKITS. **Engenharia Eletrônica**. Disponível em <<https://wrkits.com.br/>>. Acesso em: 10 de Abr. De 2019.

YNOUE, Rita Yuri et al. **Meteorologia: noções básicas**. Oficina de Textos, 2017.